

## THESIS / THÈSE

### MASTER EN SCIENCES BIOLOGIQUES DES ORGANISMES ET ÉCOLOGIE

#### Répartition et migration de *Daphnia magna* au sein de l'étang de Luchy

Sohy, Denis

*Award date:*  
2001

[Link to publication](#)

#### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

#### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



---

**FACULTES UNIVERSITAIRES NOTRE-DAME DE LA PAIX  
NAMUR**

**Faculté des Sciences**

**Répartition et migration de *Daphnia magna*  
Au sein de l'étang de Luchy**

**Mémoire présenté pour l'obtention du grade de  
licencié en Sciences biologiques**

Denis SOHY

Septembre 2001

**Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix**  
**FACULTE DES SCIENCES**  
Secrétariat du Département de Biologie  
Rue de Bruxelles 61 - 5000 NAMUR  
Téléphone: + 32(0)81.72.44.18 - Téléfax: + 32(0)81.72.44.20  
E-mail: joelle.jonet@fundp.ac.be - <http://www.fundp.ac.be/fundp.html>

## **Répartition et migration de *Daphnia magna* Au sein de l'étang de Luchy**

SOHY Denis

### Résumé

Cette étude a pour cadre les étangs de la réserve naturelle de Luchy. Au delà de l'étude du milieu, nous nous sommes intéressés à une problématique plus précise, la répartition et la migration de *Daphnia magna* dans un milieu dépourvu de prédateurs vertébrés.

Plusieurs cycles de 24 h, durant lesquels des collectes ont été réalisées toutes les 4 h, nous ont permis d'étudier la répartition des organismes dans la colonne d'eau et de la mettre en relation avec différents paramètres biotiques (disponibilité alimentaire et pression de prédation) et abiotiques (ensoleillement et teneur en oxygène).

Ce milieu est caractérisé par une bonne qualité d'eau et une grande biodiversité. Des migrations de *Daphnia magna* ont été constatées en certaines époques et mises en relation avec l'un ou l'autre facteur. Aucun patron net de migration n'a été observé, ceci étant probablement dû au fait que ce milieu est peu stressant pour ces cladocères planctoniques. L'introduction prochaine de truitelles pourrait cependant perturber cette dynamique.

Mémoire de licence en Sciences Biologiques

Août 2001

**Promoteur:** J.-C. Micha

## Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Monsieur le Professeur J.C. Micha qui m'a aimablement accueilli au sein de son laboratoire.

Je tiens également à remercier Monsieur le professeur J.P. Descy, François Darchembeau et Laurent Viroux pour leur aide lors du choix de ce sujet et leurs conseils avisés.

J'adresse ma profonde gratitude à Gisèle Verniers pour m'avoir suivi tout au long de ce mémoire et pour son aide lors de sa réalisation.

Merci à ma famille et surtout à mes parents qui m'ont permis d'être arrivé là où je suis actuellement. Ils ont été pour moi un soutien à tous les points de vue et je leur suis reconnaissant pour leur grand dévouement et tous les sacrifices qu'ils ont pu faire pour moi. Je tiens tout particulièrement à remercier mon père qui m'a aidé à récolter les données nécessaires à l'établissement de ce travail, si éloigné de ses préoccupations habituelles.

Merci à Sophie, mon amie. Elle est pour moi une source d'inspiration de chaque instant et a su se montrer compréhensive au cours de ces quatres dernières années passées ensemble. Merci aussi pour son travail dactylographique.

Merci à Jadzia, Kira et Data pour m'avoir supporté durant cette longue épreuve qu'est le mémoire. Ils ont été pour moi une aide de tout instant, me soutenant aussi bien dans les bons moments que dans les pires désillusions.

Merci à Bruno pour m'avoir aidé lors de la réalisation de toutes les manipulations.

A ces remerciements j'associe tous les autres mémorants, Sam, Seb, Jé, Abou, Roch, Stan, Simon et les membres du laboratoire d'écologie pour leur aide, leurs conseils et les moments de bonne humeur qui ont éclairé cette année.

Merci à mes amis du cercle de biologie, Gla, Oli, Alex, Audrey, Géraldine, Sarah, Etienne et tous les autres que j'adore et sans qui cette année n'aurait sans doute pas été aussi exceptionnelle, riche et belle.

Merci à mes amis pharma, Greg, Xavier, Abi, Maïté, Mel, Hugues, Adelin, Thierry et tous les autres. Ils m'ont offerts cette année des moments de pure et simple joie.

Un tout grand merci à Mathieu pour être venu avec moi sur le terrain.



# TABLE DES MATIERES

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION	1
CHAPITRE 2 : FACTEURS INFLUENCANT LA REPARTITION DE D. MAGNA	5
2.1 Les cladocères : généralités	5
2.2. Les facteurs physiques	7
2.2.1. Effets de la lumière	7
2.2.2. Effets de la température	8
2.3. Facteurs biotiques	9
2.3.1. Présence de macrophytes	9
2.3.2. Présence de prédateurs	12
2.3.2.1. Les poissons zooplanctonophages	12
2.3.2.2. Les macroinvertébrés prédateurs	13
2.3.3. Activité de filtration	16
2.3.4. Nage individuelle	18
2.3.5. Nage de groupe: aspects génétiques	20
2.3.6. Influence de la taille	21
CHAPITRE 3 : MATERIEL ET METHODES	22
3.1. Etude globale du milieu étudié	22
3.1.1. Présentation du milieu	22
3.1.2. Qualité physico-chimique des eaux	23
3.1.2.1 mesure du pH	23
3.1.2.2 Mesure de la conductivité	23
3.1.2.3 Mesure de l'alcalinité	24
3.1.2.4 Mesure de l'oxygène	24
3.1.2.5 Dosage des cations	24
3.1.2.6 Dosage des chlorures	25
3.1.2.7 Dosage des sulfates	25
3.1.2.8 Dosage de l'azote sous ses différentes formes	27
3.1.2.9 Dosage des orthophosphates	30
3.1.3 Qualité biologique du milieu	31
3.2 Dynamique phyto- et zooplanctonique	32
3.2.1 Choix des techniques utilisées	33
3.2.1.1 choix des différents sites et de la fréquence des prélèvements	33
3.2.1.2 choix de la technique d'échantillonnage	34
3.2.1.3 Périodicité des campagnes	34
3.2.2 Collecte et analyse des données	35
3.2.2.1 Le phytoplancton	35
3.2.2.2 Le zooplancton	36
3.2.2.3 Les chaoboridés	37

CHAPITRE 4 : DESCRIPTION PHYSICO-CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE DES EAUX DE LA RESERVE DE LUCHY	38
4.1 Qualité physico-chimique	38
4.2 Qualité biologique	42
4.3 Conclusion	44
CHAPITRE 5 : REPARTITION ET MIGRATION DE DAPHNIA MAGNA AU SEIN DE L'ETANG PRINCIPAL DE LUCHY	4
5.1 Inventaire des différentes espèces de zooplancton et phytoplancton répertoriées dans nos échantillons	45
5.1.1 Espèces de zooplancton	45
5.1.2 Espèces de phytoplancton	46
5.2 Simplification des données	47
5.3 Répartition spatiale et migration au sein d'une même zone	48
5.3.1 Cycle du 29-05-2001	48
5.3.1.1 Classe de taille 0,5 mm	48
5.3.1.2 Classe de taille 0,8-1,9 mm	49
5.3.1.3 Classe de taille 2,2-2,5 mm	50
5.3.2.1 Classe de taille 0,5 mm	51
5.3.1 Ccle du 16-06-2001	51
5.3.2.1 Classe de taille 0.5 mm	52
5.3.2.2 Classe de taille 0,8-1,9 mm	
5.3.2.3 Classe de taille 2,2-2,5 mm	53
5.3.3 Cycle du 23-06-2001	53
5.3.3.1 Classe de taille 0,5 mm	54
5.3.3.2 Classe de taille 0,8-1,9 mm	54
5.3.3.3 Classe de taille 2,2-2,5 mm	54
5.3.4 Cycle du 03/07	55
5.3.4.1 Classe de taille 0,5 mm	55
5.3.4.2 Classe de taille 0,8-1,9 mm	56
5.3.4.3 Classe de taille 2,2-2,5 mm	57
5.4 Répartition des Chaoboridés	58
5.4.1 cycle du 29/05	58
5.4.2 cycle du 16/06	58
5.4.3 cycle du 23/06	58
5.4.4 cycle du 03/07	58
5.5 Répartition des différentes classes d'algues	59
5.5.1 Zones littorales	59
5.5.2 Zones pélagiques	60
CHAPITRE 6: ANALYSE ET DISCUSSION	61
6.1 Analyse des données récoltées	61
6.1.1 Les facteurs abiotiques influençant la répartition de Daphnia magna	63
6.1.1.1 L'oxygène dissous (D.O.)	63
6.1.1.2 L'intensité lumineuse	66
6.1.2 Paramètres biologiques influençant la répartition de Daphnia magna	69
6.1.2.1 Les chaoboridés	69

6.1.2.2 Le phytoplancton	72
6.1.3 Intégration des différents paramètres biotiques et abiotiques dans les migrations	76
6.2 Discussion	78
 CHAPITRE 7 : CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	 81
7.1 Conclusions générales	81
7.2 Perspectives	82

## **I : INTRODUCTION**

# CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

La réserve naturelle des étangs de Luchy (figure 1.1), cadre de ce mémoire, se situe en Ardenne Centrale, précisément entre la ligne de chemin de fer Libramont-Bertrix et la route Libramont-Bouillon (I.G.N. 64/7 ;64/8). Elle est gérée par la Division Nature et Forêt (D.N.F.) et s'étend sur une superficie de 14 ha dont la majeure partie (9 ha) est occupée par deux étangs principaux. Le premier a été créé une dizaine d'années après la mise en service de la ligne Libramont-Bertrix (1882) - il s'agit de l'étang amont, d'une étendue de 0,7 ha, entouré d'une digue épaisse de terre et d'une profondeur maximale de 4,5m -, le second étang date de 1928, année de la construction d'une digue de béton longue de 235 m et haute de plus de 6 m. C'est de loin la partie la plus importante de la réserve (> 8 ha) et c'est donc sur cette dernière que nous nous attarderons (figure 1.2).

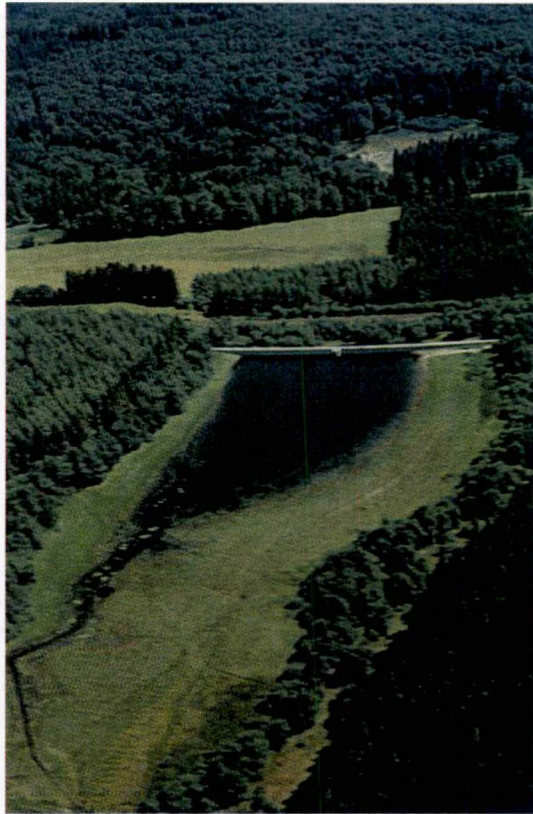
Ces étangs se situent dans un bassin versant faiblement industrialisé. A 90% forestier, seuls une route et des pâturages - signes d'activités humaines - constituent les éventuels apports en polluants. De ceci découle une très bonne qualité d'eau qui, couplée à un cadre boisé et calme entraîne une biodiversité exceptionnelle.



Figure 1.3 : tapis de littorelle sur les rives de l'étang principal (Photo P. Devillers ; Les réserves domaniales de l'Ardenne Centrale: Les étangs de Luchy 1991).

D'un point de vue floral, nous pouvons souligner la présence de la *Littorella uniflora* (Ascherson ; figure 1.3), espèce rare que l'on retrouve l'été sous forme de tapis le long des berges de l'étang principal. Le domaine s'avère aussi d'un très grand intérêt en ce qui





**Figure 1.1** vue de la réserve naturelle des étangs de Luchy. (Les réserves naturelles domaniales de l'Ardenne Centrale, les étangs de Luchy, photo, J-M Dumont)



**Figure 1.2:** vue de la rive droite de l'étang principal au printemps (Les réserves naturelles domaniales de l'Ardenne Centrale, les étangs de Luchy, photo Ph Goffart)

concerne les odonates, batraciens et autres oiseaux. Pour exemple, 24 espèces d'odonates ont été observées dans la zone protégée (Walot , 1992). Ce nombre élevé est remarquable et se rapproche de celui noté pour les étangs les plus riches en espèces de la Région Wallonne. Les étangs de Luchy abritent notamment la plus importante population connue du leste dryade (*Lestes dryas* ; Kirby, 1890 ) en Wallonie. Cette demoiselle est particulièrement menacée en Europe Occidentale et est très localisée en Belgique. Il faut aussi souligner la présence d'espèces d'oiseaux relativement rares tels la cigogne noire qui s'alimente sur les rives découvertes en été, et le grand corbeau, réintroduit dans le Sud du pays, ayant niché aux abords de la réserve. (Walot, 1992)



Figure 1.4: *Lestes dryas* (photo : Goffart ; Les réserves domaniales de l'Ardenne Centrale: Les étangs de Luchy 1991).

La réserve naturelle de Luchy est donc un site possédant un patrimoine exceptionnel. Lors de notre première visite, nous avons été interpellés par l'abondance de la communauté planctonique, et plus particulièrement d'une espèce bien précise de zooplancton : le cladocère *Daphnia magna* (Straus, 1820, fig 1.5). Cette abondance était en fait due à une absence de prédation par la communauté ichthyologique, retirée de l'étang lors de sa dernière mise à sec, en 1998. Il nous a dès lors paru intéressant de nous attarder sur cette espèce et d'étudier sa dynamique migratoire.

La répartition du zooplancton dépend de très nombreux facteurs susceptibles d'agir conjointement. Certains d'entre eux peuvent agir directement sur la démographie du zooplancton (prédation, disponibilité en nourriture,...), alors que d'autres modifient leur distribution individuelle. Parmi ceux-ci, nous retrouvons des facteurs physiques tels que la température et l'intensité lumineuse. Les paramètres biologiques tels la présence de



macrophytes et la prédation peuvent jouer un rôle prédominant dans cet aspect de l'écologie planctonique. Il s'agit ici aussi bien de la prédation de *Daphnia magna* sur les protozoaires ou le phytoplancton que la prédation sur *Daphnia magna* par des macroinvertébrés.

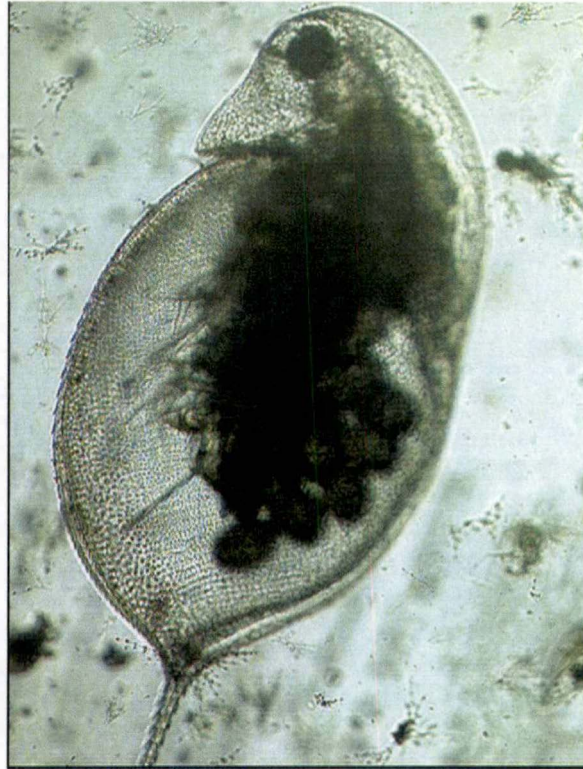


Figure 1.5.: photo d'une femelle de *Daphnia magna* portant un groupe d'œufs dans la poche incubatrice dorsale.

L'objectif principal de ce mémoire est de comprendre la dynamique migratoire de ce cladocère au sein de l'étang principal de la réserve naturelle de Luchy. L'aspect original de cette étude se situe dans le fait que nous travaillons dans un milieu où la pression de prédation par la communauté ichtyologique zooplanctonophage est absente, ce qui est relativement rare dans des conditions naturelles. Dès lors, nous pouvons nous demander à juste titre si nous pouvons toujours observer un comportement migratoire chez ce cladocère, et si oui, quel est il et quel(s) est (sont) le(s) facteur(s) qui le déterminent.

Outre la distribution spatiale de *Daphnia magna*, nous allons nous intéresser aux deux facteurs principaux susceptibles d'engendrer une migration: d'une part, la prédation par les macroinvertébrés aquatiques et, d'autre part, la distribution du phytoplancton, source de nourriture de *Daphnia magna*.



Afin de mener à bien ce projet, nous nous pencherons sur deux points :

- une étude globale du milieu nous permettra de bien comprendre les conditions dans lesquelles nous travaillons. Celle-ci passe par l'analyse physico-chimique des eaux de l'étang, et par l'analyse de la communauté de macroinvertébrés, dans lesquels se retrouveront les différents prédateurs susceptibles d'agir dans la migration du zooplancton.
- cinq cycles de prélèvements d'une durée de vingt-quatre heures nous permettront de mettre en évidence la localisation de *Daphnia magna* pour chaque période de la journée. Lors de ces cycles, nous allons bien sûr étudier également la répartition des macroinvertébrés prédateurs ainsi que celle du phytoplancton. Il s'agit ici de la partie essentielle de ce travail.

Lors du chapitre suivant, nous allons nous focaliser sur les cladocères et les facteurs essentiels de leur dynamique afin de mieux comprendre l'impact de ces paramètres sur leur distribution spatiale.

## **II : FACTEURS INFLUENCANT LA REPARTITION DE *D. MAGNA***

## CHAPITRE 2 : FACTEURS INFLUENCANT LA REPARTITION DE *D. MAGNA*

### 2.1 Les cladocères : généralités

Les cladocères constituent un ordre rattaché à la sous-classe des Crustacés Entomostracés. Très fréquents dans tous les types d'eaux douces, ils assurent une fonction très importante dans les transferts de matière et d'énergie de l'écosystème aquatique. (Pourriot *et al.*, 1982, in Amoros 1984).

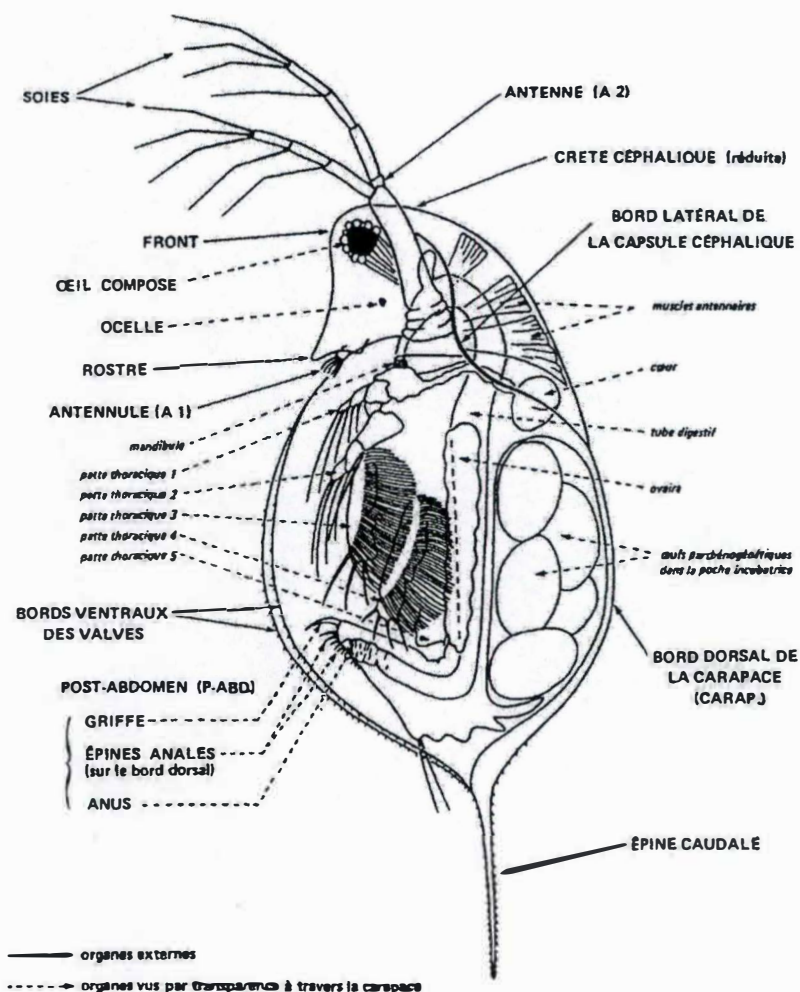


Figure 2.1 Organisation anatomique d'une daphnie femelle en vue latérale (Amoros, 1984)

Leur corps, d'une taille variant de 200  $\mu\text{m}$  à 1 cm pour les espèces les plus grandes, ne présente aucune segmentation et est constitué de trois subdivisions (figure 2.1): la tête, le thorax et le post-abdomen. La tête (non comprise dans la carapace bivalve) est protégée par une capsule céphalique. Elle est porteuse d'un œil composé, constitué d'un nombre variable de cristallins entourant une masse compacte pigmentée et auquel est fréquemment associé un ocelle. Sur la face ventrale de la tête sont insérées des antennules - à fonction sensorielle -, tandis que les antennes - à fonction natatoire et mues à leur base par des muscles bien développés - sont insérées sur les côtés de la tête.

Chez la plupart des espèces, le thorax et le post-abdomen sont recouverts d'une carapace bivalve dont l'ouverture, ventrale et postérieure, laisse sortir les appendices thoraciques et le post-abdomen. Entre les valves de la carapace se situent cinq à six paires de pattes thoraciques munies de nombreuses soies et épines.

La majorité des cladocères sont considérés comme des filtreurs plus ou moins spécialisés. C'est le mouvement permanent des pattes thoraciques créant un courant d'eau entre les valves qui sert à filtrer l'eau et à retenir les particules nutritives en suspension et qui assure également les échanges respiratoires. *Daphnia magna* se nourrit via la filtration de bactéries, de détritrus très fins et de nanoplancton.

Les populations de cladocères sont, la plupart du temps, constituées exclusivement de femelles qui se reproduisent par parthénogenèse, la reproduction sexuée correspondant généralement à une détérioration du milieu. Les œufs non fécondés sont produits par groupes et pondus dans une poche incubatrice dorsale, juste après la mue de l'animal. Ces œufs sont libérés sous forme de répliques miniatures de l'adulte juste avant la mue suivante.

Un nombre variable de mues, correspondant à la période juvénile, est requis avant la mise en place du premier groupe d'œufs. Le nombre d'œufs constituant chaque portée successive augmente avec la taille de l'animal, correspondant à l'accroissement de la capacité de la poche incubatrice dorsale (Gliwicz et Lampert, 1994).

On retrouve généralement *Daphnia magna* dans des biotopes de petites dimensions aux eaux peu oxygénées et fortement chargées en matières organiques, principalement dans

les espaces d'eau libre entre les herbiers d'hydrophytes ou d'hélophytes. C'est une espèce thermophile. (Amoros, 1984). Les femelles adultes ont une taille (dépendante de cette même température) de 2.3 mm à (14 °C) à 2,5 mm (à 20 °). La première ponte est effectuée de 5 h à 6 h après l'éclosion (Sakwinska, 1998).

## **2.2. Les facteurs physiques**

La majorité des hypothèses concernant la manière dont les modèles de migrations horizontales sont produits et maintenus dans les écosystèmes aquatiques, se focalise sur le rôle des facteurs physiques et des éléments stochastiques. (élément qui relève du hasard et faisant l'objet d'une étude statistique ; Malone et McQueen 1983)

### **2.2.1. Effets de la lumière**

La lumière joue un rôle très important dans la distribution du zooplancton. En effet, c'est principalement le "facteur lumière" qui détermine le comportement de nage pour les espèces planctoniques animales. En fait, les changements d'intensité lumineuse et l'angle relatif de la lumière permettent à l'animal de nager selon son photoenvironnement idéal.

Bon nombre d'études sur la direction préférentielle de nage chez les crustacés planctoniques montrent que les espèces pélagiques évitent la zone littorale durant le jour (figure 2.2). Ce phénomène classique s'observe à de faibles distances de la rive (de quelques mètres à moins de vingt mètres.), c'est-à-dire dans la zone de contact entre le littoral et l'eau libre. A cet endroit, le plancton reconnaît et utilise à la fois l'intensité lumineuse, son angle ainsi que sa couleur pour s'orienter dans la couche d'eau (Smith *et al.* 1983 in Zurek 1989).



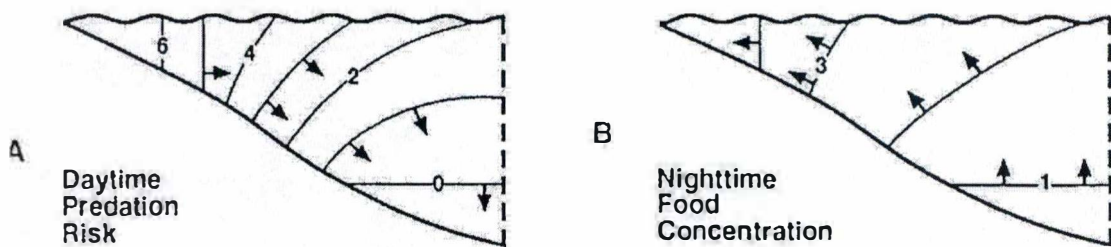


Figure 2.2 : mouvements du zooplancton de jour et de nuit. A : de nuit, on remarque l'évitement de la zone littorale en réponse à la prédation. B. de jour, on observe une remontée vers les eaux de surface à cause de l'abondance du phytoplancton (d'après White 1997).

Dans la période faisant suite au crépuscule, on remarque un changement dans la distribution du zooplancton, ceci dû au fait que l'individu ne peut plus utiliser, à ce moment, la lumière afin de se guider. A ce moment, les espèces se dispersent ou s'agrègent à différents endroits afin d'éviter les populations de prédateurs (Zurek 1989).

En ce qui concerne la migration verticale, les crustacés zooplanctoniques évitent généralement la zone photique durant le jour pour migrer vers la surface quand les prédateurs visuels sont inactifs (White 1997). Ils vont donc modifier, via la profondeur, leur environnement en terme de disponibilité en proie et de risque de prédation. Toutefois, on remarque parfois des comportements encore inexpliqués dans la relation migration verticale-intensité lumineuse : certaines populations stoppent leur ascension avant d'arriver dans les eaux de surface, d'autres s'agrègent dans les eaux de surface quelques heures avant le lever du soleil. (Richards *et al.* 1996)

### 2.2.2. Effets de la température

Le zooplancton étant poïkilotherme, la température joue un rôle essentiel à bien des niveaux de son écologie. Ainsi, elle affecte des phénomènes allant de l'émission des œufs au comportement de nage. A ce niveau, c'est surtout la stratification thermique et les conditions physico-chimiques qui vont influencer sur la répartition du zooplancton.

Une étude de Murdoch *et al.* (1985) sur la population de *Daphnia carinata* King 1853 au sein de l'étang de Lara (Italie) montre des oscillations dans leur population. L'amplitude des fluctuations variaient de façon saisonnière. Ces fluctuations étaient beaucoup plus importantes pendant les mois chaud (20 °C) et devenaient moins importantes lorsque la température descendait en dessous de 15°C (figure 2.3 ; Murdoch et Mc Cauley, 1985 in Barry 1997).

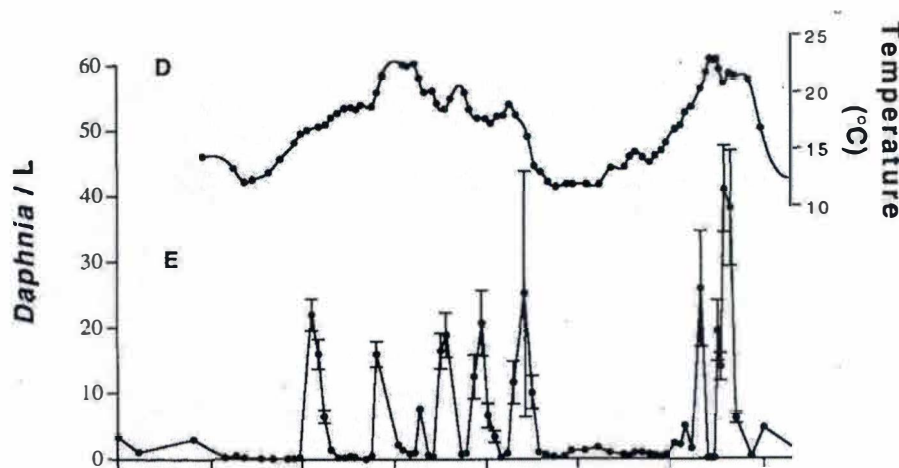


Figure 2.3 : densités de daphnies en comparaison avec l'augmentation de température (d'après Barry, 1997).

La filtration, l'ingestion, l'assimilation et le taux de croissance de la daphnie s'accroissent avec la température jusqu'à un maximum physiologique déterminé. De manière inverse, le temps d'éclosion et l'arrivée à l'âge de maturité diminuent avec une augmentation de température. Il est aussi connu que le taux de prédation par les notonectidés augmente avec la température (Barry, 1997).

## **2.3. Facteurs biotiques**

### **2.3.1. Présence de macrophytes**

La présence de macrophytes est un facteur essentiel dans la dynamique migratoire du zooplancton. En effet, les plantes aquatiques peuvent non seulement jouer un rôle protecteur pour le zooplancton – moins visible aux yeux de ses prédateurs – mais elles créent aussi un microenvironnement distinct de la zone pélagique – concentration en oxygène, lumière, température et présence moins marquée du phytoplancton – différents de ceux de la zone pélagique, ce qui peut procurer un environnement préférentiel ou non.

Les lits de macrophytes agissent comme un refuge diurne pour les cladocères (Lauridsen et Buenk, 1996), permettant ainsi le maintien de la population zooplanctonique malgré la présence de poissons, tout en maintenant une haute pression de grazing sur le phytoplancton. Il s'est avéré que c'était surtout la zone de contact entre le milieu pélagique et le milieu littoral qui jouait un rôle particulièrement important comme refuge pour les cladocères.

Une campagne menée par Lauridsen *et al.* (1996) évalue comment la taille du lit macrophytaire peut jouer un rôle dans la composition et les migrations nycthémérales d'un certain nombre d'espèces de cladocères. Celle-ci suggère que la composition de la communauté de cladocères inféodés aux macrophytes change en fonction de la taille du lit (Tableau 2.1). Ils conclurent que les espèces migratoires étaient dominantes dans les plus petits lits de macrophytes tandis que les espèces littorales non migratoires étaient prédominantes dans des lits de plus grande importance. De plus, les migrations nycthémérales horizontales allant de et venant des zones pélagiques étaient plus importantes dans les cas de petits lits macrophytaires. Cette étude suggère finalement que par unité d'aire, des petits lits de macrophytes sont plus efficaces comme refuge diurne pour les cladocères effectuant une migration horizontale.

Tableau 2.1 : abondance du zooplancton au sein de lits macrophytaires de différentes tailles (d'après Lauridsen *et al.* 1996).

	2m enclosure		10 m enclosure		25 m enclosure		Reference stations		Mid-lake	
	No. l <sup>-1</sup>	%	No. l <sup>-1</sup>	%	No. l <sup>-1</sup>	%	No. l <sup>-1</sup>	%	No. l <sup>-1</sup>	%
<i>Ceriodaphnia</i> spp.	3430	62	865	46	202	23	99 ± 38	41 ± 16	92	76
<i>Bosmina</i> spp.	1876	34	300	16	28	3	118 ± 45	48 ± 18	22	18
<i>Diaphanosoma brachyurum</i>	70	1	278	15	138	15	3 ± 1	1 ± 0.3	5	4
<i>Sida crystallina</i>	1	0	10	0.5	10	1	0.1 ± 0.1	0 ± 0	0	0
<i>Eurycerus lamellatus</i>	7	0.1	28	1.5	16	2	0.1 ± 0.1	0 ± 0	0	0
<i>Simocephalus vetulus</i>	11	0.2	171	9	92	11	0 ± 0	0 ± 0	0	0
<i>Pleuroxus</i> sp.	109	2	72	4	82	9	16 ± 13	7 ± 5	0	0

Ceci est en accord avec les hypothèses de Lauridsen et Buenk (1996) qui soutiennent le fait que *Daphnia magna* et *Daphnia hyalina* (Leydig, 1860) /*galeata* (Sars, 1864) favorisent la bande de contact zone pélagique/zone macrophytaire comme refuge par rapport à la totalité du lit. D'un point de vue comportemental, ils ont trouvé que la densité moyenne de *Daphnia magna* au sein des lits de macrophytes pouvait être vingt fois supérieure de jour que de nuit (fig 2.4.), alors qu'il n'y avait pas de changements généraux observés en eaux libres.



Les changements nycthéméraux étaient plus importants dans la bande de contact entre les macrophytes et l'eau libre (Lauridsen and Buenk, 1996).

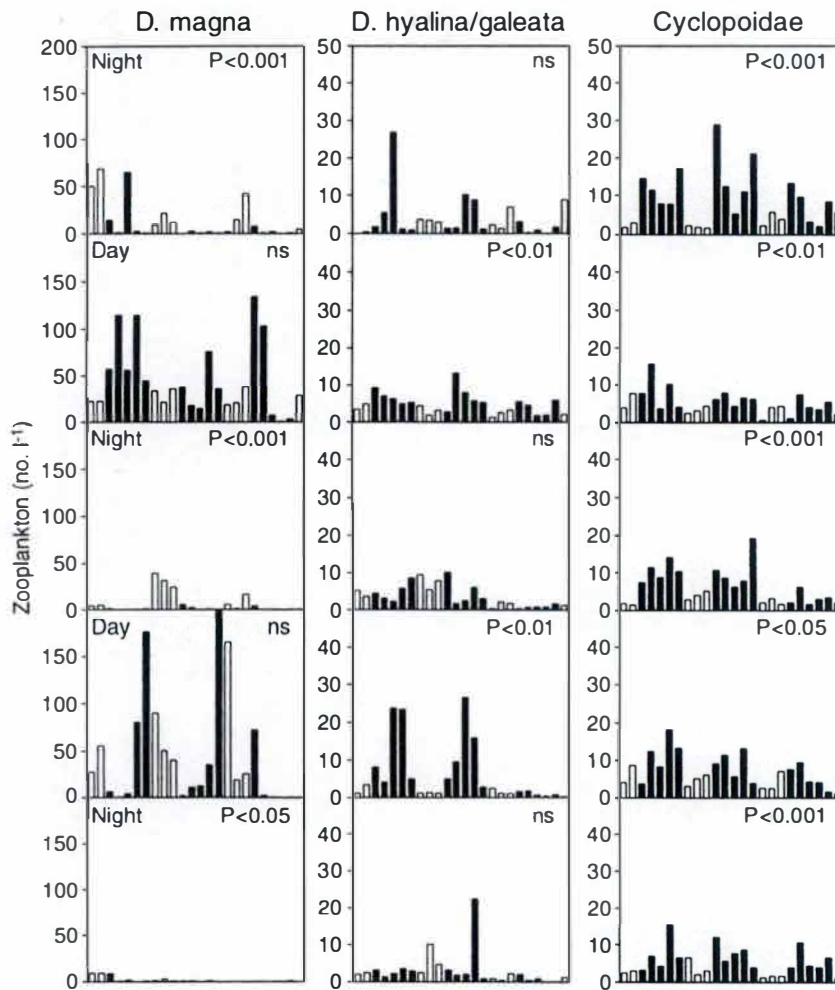


Figure 2.4.: Répartition de trois espèces de crustacés planctoniques au sein de lits de macrophytes de jour et de nuit (Lauridsen et Buenk 1996)

De manière parallèle, Jepessen *et al.* (1996) ont trouvé que la densité de jour dans le lits et l'intensité de migration augmentaient avec la densité de macrophytes. Ceci implique que l'établissement de nombreux petits refuges peut entraîner de plus grandes densités de cladocères migratoires que dans le cas d'un petit nombre de grands refuges. Cela permet d'assurer un plus grand taux de filtration pendant le jour au niveau des macrophytes et pendant la nuit, en pleine eau (Lauridsen *et al.* 1996).

Il est évident que d'autres facteurs que la relation macrophyte/zooplancton doivent être pris en considération. En effet, si on se situe dans un milieu où la pression de prédation est importante dans le lit macrophytaire, on remarquera un comportement d'évitement du littoral par le zooplancton. Celui-ci étant une adaptation pour réduire l'exposition de ces derniers aux poissons zooplanctonophages, eux-mêmes utilisant la protection des macrophytes contre d'éventuels prédateurs (White, 1997). On remarque donc que les migrations horizontales, dans ce cas, jouent un rôle fondamental pour les cladocères car elles leur permettent de réduire la pression de prédation exercée sur eux.

### **2.3.2. Présence de prédateurs**

Le rôle de la prédation est un sujet assez étudié. Dans la plupart des cas, les chercheurs s'intéressent plus à l'impact d'une communauté ichthyologique qu'à l'effet induit par la présence de macroinvertébrés prédateurs. En effet, l'impact de celle-ci sur le zooplancton est plus conséquent et il est rare de trouver un milieu où elle est absente. Cette pression exercée sur le zooplancton va pousser ce dernier à réagir de manière adaptative via un processus migratoire.

#### **2.3.2.1. Les poissons zooplanctonophages**

Les poissons planctonophages peuvent affecter la structure d'une population planctonique. Ce type de prédation peut d'ailleurs, s'il est suffisant, éliminer les plus grandes espèces de zooplancton, alors remplacées par de plus petites (figure 2.5.). Si la densité de poissons planctonivores est modérée, ce type de zooplancton peut échapper à leur prédation via une attitude migratoire. Cette hypothèse de migration verticale comme réponse pour éviter la pression de prédation est de plus en plus acceptée, ceci dû à la découverte suivante: les poissons peuvent être l'ultime, aussi bien que la proximale cause des migrations verticales. Le zooplancton peut réagir à la présence de poissons via une migration immédiate : il peut détecter aussi bien des signaux mécaniques que des signaux d'origine chimique (Ringelberg 1995).

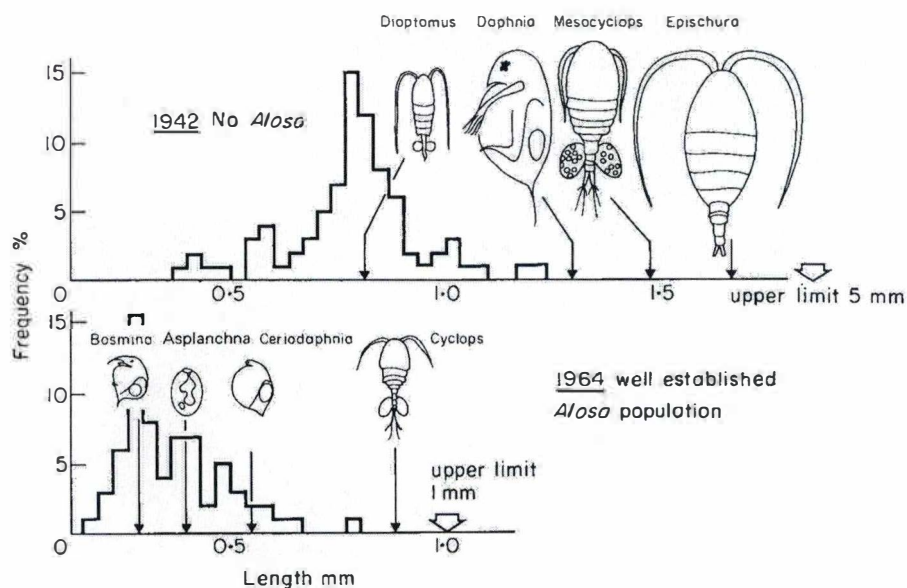


Figure 2.5. : composition des crustacés zooplanctoniques dans le Crystal Lake (Connecticut) avant (1942) et après (1964) introduction d'un poisson planctonophage : *Alosa aestivalis* (Mitchill, 1814) (d'après Brooks et Dodson, 1965 in Moss, 1988).

Dès lors, ces poissons sont responsables de fluctuations de biomasse chez le zooplancton dans l'épilimnion : en temps normal, de hautes densités y sont présentes durant la nuit et de faibles durant le jour. Bowers (1979) avait déjà souligné le fait que ces fluctuations pouvaient jouer un rôle sur le phytoplancton par effet de cascade (Lampert 1992).

#### 2.3.2.2. Les macroinvertébrés prédateurs

Le rôle des invertébrés prédateurs est quant à lui, moins bien connu. Il y a peu de littérature au sujet de macroinvertébrés causant la disparition d'espèces planctoniques dans les lacs ou les étangs, bien qu'il soit connu que ceux-ci provoquent chez bon nombre d'espèces une défense se traduisant par des changements morphologiques. Ces conséquences morphologiques se retrouvent aussi bien au niveau des espèces qu'au niveau d'une population. Cette cyclomorphose peut être causée soit par chémomorphose (Havel 1987 in Barry, 1997), soit par successions génotypiques dues à des changements dans l'environnement biotique ou abiotique. Comme les cladocères se reproduisent parthénogénétiquement, de petites différences dans les formes génotypiques peuvent être amplifiées sur plusieurs générations, pour autant que l'on retrouve la même voie dans les changements de forme (Wilson et Hebert, 1993 in Barry, 1997). Toutes ces constatations sont confirmées par les études suivantes:

Les notonectes sont les prédateurs les plus courants et les plus imposants par leur nombre dans la majeure partie des étangs. Un certain nombre d'observations ont montré que la prédation par les notonectidés peut jouer un rôle structurant sur les populations zooplanctoniques (Barry, 1997). Hall *et al.* (1971) ont montré que les notonectidés diminuent le nombre de *Daphnia* et *Ceriodaphnia* au sein d'étangs expérimentaux. Geddes (1981), dans une étude comparée sur cinq barrages dans le sud de l'Australie, découvrit que la petite espèce de notonecte *Anisops deanei* (Spinola, 1837) engendrait une diminution dans la taille moyenne du zooplancton. Cette espèce n'a toutefois pas pu éradiquer les populations de *Daphnia carinata* et *Boeckella triarticulata* (Thomson, 1883). Ultérieurement, Scott et Murdoch (1983) ont pu mettre en évidence le fait que *Notonecta hoffmani* (Hungerford, 1925) éliminait de nombreuses espèces et causait des changements majeurs dans la composition de certains lacs de barrages en Amérique du Nord.

Nesbitt *et al.* (1996) étudia la réponse de *Daphnia pulex* (Leydig, 1860) lorsqu'elle était en présence de deux de ses prédateurs communs: la larve de *Chaoborus* sp. (De Geer, 1776) et celle de *Notonecta* sp. (Linnaeus, 1758). Les larves de *Chaoborus* sp. restent généralement sans mouvement et "frappent" lorsque leur proie passe à proximité. Ces larves utilisent des mécanorécepteurs leur permettant d'évaluer la taille et le mouvement de leur proie potentielle. Elles utilisent alors leurs antennes et leurs mandibules préhensiles pour la capturer. Il s'agit là d'importants prédateurs de daphnies qui se nourrissent sélectivement d'individus de taille intermédiaire. Ces larves ont tendance à occuper la partie inférieure des étangs et des lacs où la population ichtyologique est inexistante. En ce qui concerne *Notonecta* sp., la détection des proies se fait à la fois de manière visuelle et « au toucher ». Ces prédateurs, que l'on retrouve essentiellement au niveau de la surface, se nourrissent sélectivement de plus grosses daphnies (> 1,5 mm) que les *Chaoborus*, capturant leurs proies à l'aide de leurs deux premières paires de pattes et les transperçant à l'aide de leur appendice buccal (Scott et Murdoch 1983). Ces deux prédateurs, bien que présents dans les mêmes milieux, occupent différentes strates de la colonne d'eau.



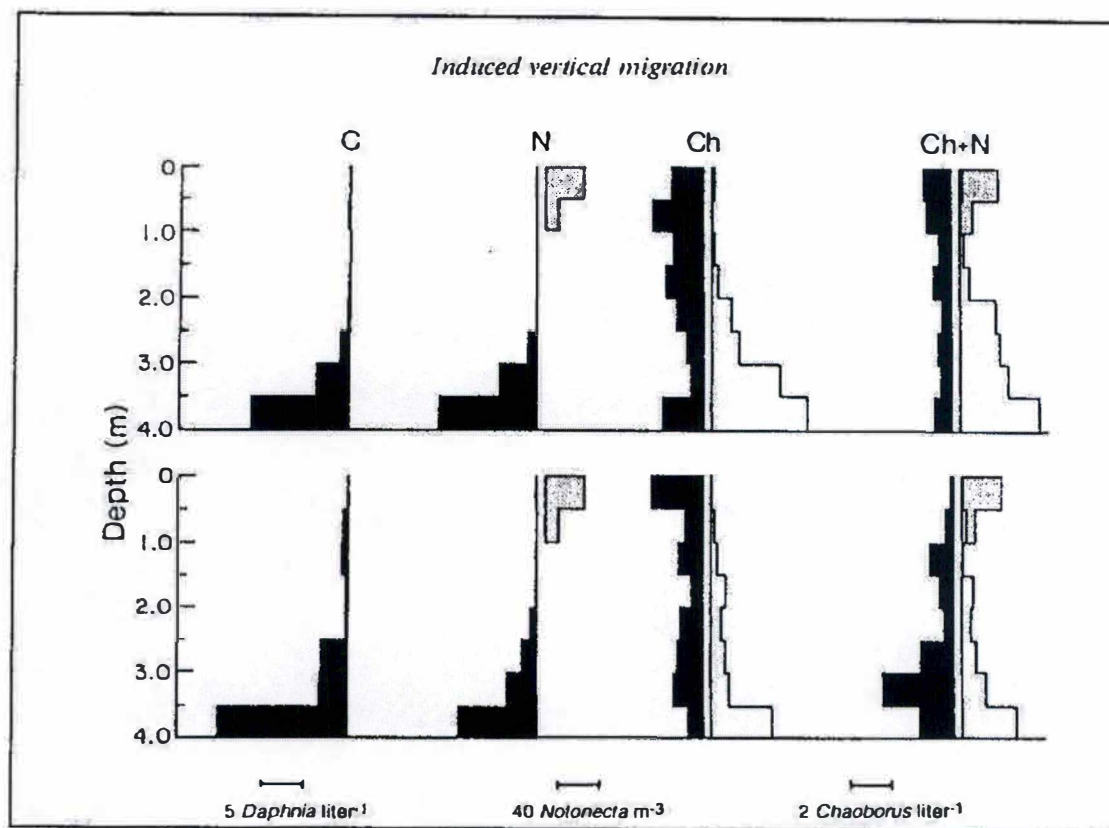


Figure 2.6. : Distribution de *Daphnia pulex*, de *Chaoborus americanus* et *Notonecta* sp. en fonction de la profondeur. Au dessus, nous retrouvons la distribution de ces trois taxons durant la nuit alors qu'en dessous, il s'agit de leur répartition diurne (Nesbitt *et al* ; 1996)

Ces chercheurs ont donc étudié la répartition d'une population de *Daphnia pulex* sous la pression de ces deux prédateurs. De ces expériences ils obtinrent les résultats suivants: quand les deux prédateurs sont présents, les adultes de *Daphnia pulex* montrent une réponse migratoire unique et apparemment adaptative qui possède une composante nycthémérale (figure 2.6.): ils réagissent à la présence de *Chaoborus* en montant dans la colonne d'eau, mais l'étendue de ces migrations varie selon le moment de la journée. La nuit, leur distribution est similaire à celle obtenue lorsque le *Chaoborus* est l'unique prédateur présent. Ces réponses migratoires dans les plus hautes portions de la colonne d'eau augmentent toutefois en présence de notonectes. Ils en déduirent que l'étendue de ces mouvements verticaux résulte d'un compromis entre la réduction du taux de prédation par les *Chaoborus* et de celui engendré par les notonectidés. Il en résulte l'hypothèse selon laquelle les kairomones libérées par les *Chaoborus*, concentrées dans la portion la plus basse de la colonne d'eau, déclenchent une migration vers le haut de *Daphnia pulex* mais, que durant le jour, la présence de kairomones

libérées par les notonectes dans les eaux de surface cause un mouvement descendant, d'où leur distribution intermédiaire. Durant la nuit, ce modèle est quelque peu changeant étant donné que les notonectidés utilisent leur vision aussi bien que la perception du mouvement pour localiser et capturer leurs proies. Ils se nourrissent donc de manière plus efficace dans la lumière que dans le noir (Streams, 1982 in Nesbitt *et al.* 1996). *Daphnia pulex* est ainsi moins vulnérable de nuit à ce prédateur et, par conséquent, ne semble pas réagir aux kairomones libérées par les notonectidés dans ces conditions. Ces résultats indiquent que *Daphnia pulex* paraît capable de répondre de manière sophistiquée à une situation spécifique par un comportement migratoire qui augmente sa condition en réduisant le risque de prédation (Nesbitt *et al.* 1996).

Les daphnies altèrent donc leur position verticale dans la colonne d'eau en réponse aux phéromones secrétées par bon nombre de prédateurs. De plus, ces substances chimiques peuvent induire, chez les daphnies tout comme chez d'autres espèces de zooplancton, des changements morphologiques (capsule céphalique, formation d'épines,...) dont on croit qu'ils sont une réponse adaptative à la pression de prédation (Stibor *et al.* 1994).

### **2.3.3. Activité de filtration**

Le grazing du phytoplancton par le zooplancton est un des plus importants liens trophiques d'un écosystème lacustre. Beaucoup de lacs mésotrophes ou eutrophes montrent des périodes où le zooplancton herbivore régit tous les processus dans la zone pélagique. Bien que ces phases d'eaux claires soient relativement courtes, elles montrent de manière saisissante que le zooplancton, en particulier les daphnies, peuvent entièrement contrôler la communauté phytoplanctonique et même supprimer la boucle microbienne (Lampert, 1992).

Les communautés phytoplanctoniques et zooplanctoniques ont des distributions verticales ayant une rythmique journalière. Ces migrations verticales chez le phytoplancton peuvent être dues à des changements spécifiques de densité de cellules via la formation de vacuoles gazeuses ou bien via des déplacements actifs en ce qui concerne les espèces flagellées. Ces variations sont souvent régulées par la lumière.

Du point de vue zooplanctonique, l'activité migratoire verticale journalière et l'activité de grazing sont en association étroite, le zooplancton migrant à des fins alimentaires. Le zooplancton se nourrit selon une rythmique diurne. Durant la nuit, l'activité de grazing est plus importante dans les couches supérieures de la tranche d'eau, ceci étant dû à une grande concentration de zooplancton et de nourriture dans ces couches. Une étude menée sur le lac Candia en Italie confirme cette hypothèse (Hamza *et al.* 1993). Celle-ci souligne aussi le fait que la concentration et la qualité de nourriture liée à la structure de la communauté zooplanctonique peut influencer le taux moyen de filtration par cette dernière. Le temps de migration verticale journalier, le gradient thermique horizontal et l'épaisseur des couches d'échanges pourraient être les facteurs principaux déterminant la migration horizontale journalière chez certaines espèces de zooplancton.

En 1992, Lampert suite à de nombreuses expériences en laboratoire et sur le terrain, a tiré l'hypothèse suivante: la relation entre la croissance nette algale et les migrations verticales du zooplancton est simple seulement en conditions non limitantes en nutriments. La régénération des nutriments par le zooplancton peut stimuler la croissance algale en conditions limitantes.

Par conséquent, les migrations peuvent non seulement réduire la mortalité algale mais aussi le taux de croissance algale. Sous des conditions fortement limitantes, ces deux processus se compensent l'un et l'autre. Les migrations verticales du zooplancton causent des fluctuations journalières considérables de pression de grazing sur le phytoplancton dans la zone épilimnétique. Les conséquences de ces fluctuations journalières ont été étudiées via des mesures de grazing *in situ* durant le jour et la nuit en utilisant des algues picoplanctoniques et nanoplanctoniques. Le grazing était corrélé de manière étroite à la biomasse zooplanctonique présente. Il s'est avéré que le taux spécifique de grazing ne différait pas de jour et de nuit, dès lors, le zooplancton n'était pas capable de compenser pendant les périodes d'inanition. Il en résulte un taux total de grazing plus faible lors des migrations que lorsqu'il n'y en a pas. Le taux de grazing d'une population sur le picoplancton était habituellement plus faible que celui sur le nanoplacton.

En effet, la pression relative de grazing sur des petites et grandes particules différait considérablement entre le jour et la nuit, avec une large préférence pour les grosses particules durant la nuit. Ceci était dû à la composition variée de la communauté zooplanctonique dans l'épilimnion. Le poids moyen des espèces *Daphnia* et *Eudiaptomus* était plus grand la nuit, indiquant une plus large proportion de grand zooplancton dans les eaux de surface. L'index d'électivité était fortement influencé par la proportion d'*Eudiaptomus* dans la biomasse zooplanctonique, qui se nourrit sélectivement de grandes particules. Les changements journaliers quantitatifs et qualitatifs dans la mortalité algale, peuvent être compris comme un effet de cascade, contrôlé à la base par des poissons planctivores (Lampert, 1992).

#### **2.3.4. Nage individuelle**

Le comportement de nage individuelle du zooplancton est potentiellement une composante critique de l'écologie zooplanctonique. Il existe quatre points majeurs pour lesquels le comportement de nage individuelle est un mécanisme important:

1. Il s'agit d'un mécanisme sous-jacent de comportements à échelle de population telle les migrations horizontales et verticales.
2. Les comportements individuels affectent les interactions prédateurs-proies. Ceci est surtout vrai dans l'environnement pélagique où le mouvement de la proie est important à la fois comme réponse aux prédateurs et comme facteur déterminant leur rencontre.
3. Le taux d'ingestion individuel pourrait être lié au comportement de nage; dans la plupart des cas, certains appendices sont utilisés pour ces deux types de comportements.
4. Les substances toxiques - qu'elles soient naturelles, telles les toxines cyanobactériennes ou, anthropiques, telles les substances pesticides - peuvent avoir des effets indirects sur la totalité de la communauté pélagique en altérant ce comportement de nage individuelle (Dodson *et al.* 1997)

En 1997, Dodson *et al.* étudièrent ce type de comportement chez les daphnies. Leur but était de définir les variables comportementales et de déterminer leur réponse face à différents traitements environnementaux. Pour ces traitements, ils choisirent deux niveaux de lumière et de nourriture. Ils cherchèrent aussi les différences dans le comportement de nage sous les mêmes conditions, c'est-à-dire, un système mésocosme suffisamment grand pour simuler la zone pélagique d'un lac et de petites chambres d'observation (Dodson *et al.* 1997).



Utilisant les nombreuses variables descriptives du comportement de nage, ils se posèrent la question suivante: les différentes espèces de daphnies montrent-elles les mêmes réponses aux différentes variables environnementales?

Afin de répondre à cette question, ils testèrent différentes hypothèses concernant le comportement de nage individuelle et montrèrent - à l'aide d'une analyse de type ANOVA - l'effet très prononcé à la fois de la lumière et de la nourriture sur celui-ci (tableau 2.2.). Ces effets sont valables pour des animaux qui sont équilibrés dans leur environnement, mais pas pour un changement au niveau de la concentration en nourriture. On peut remarquer que, pour *Daphnia magna* la vitesse de nage était significativement plus élevée dans des conditions où la nourriture se trouvait à forte concentration.

Tableau 2.2. : Résultats d'analyses de type anova montrant l'effet de la lumière et de la nourriture sur la vitesse de natation, le taux d'enfouissement et la position angulaire (Nesbitt et al., 1996)

	Food	Light	Food × light	Body length
<i>Daphnia magna</i>				
Log speed	***▲	***▲		
Log sinking rate				
Turning angle			*** LF = highest	
<i>Daphnia pulicaria</i>				
Speed		***▼		
Sinking rate	***▲	*▼		*
Turning angle	**▼	*▼		**
<i>Daphnia hyalina</i>				
Speed	**▲	***▼		*
Sinking rate	*▲	*▼		
Log turning angle		***▼		
<i>Daphnia pulex</i>				
Speed	***▲	****▼		
Square root sinking rate (?)			***LF = lowest	
Turning angle	***▲			***

\*P < 0.05; \*\*P < 0.01; \*\*\*P < 0.001.

En général, une forte concentration en nourriture est associée à une vitesse plus grande, un taux d'enfouissement plus grand et ne montre pas d'effets consistants sur leur position angulaire dans la tranche d'eau. On remarque, par contre, que la lumière produit l'effet inverse, si ce n'est au niveau de leur position angulaire, celle-ci étant plus faible dans ce cas. Toutefois, il existe des exceptions. Par exemple, il s'avère que *Daphnia magna* nage plus

vite quand la lumière et la concentration en nourriture sont élevées. Les clones de *Daphnia magna* et *Daphnia pulex* montrent des réactions synergétiques à la lumière et la nourriture. Ces effets linéaires (indépendants) et non-linéaires (synergétiques) indiquent l'importance de ces deux paramètres dans le mécanisme de nage. Toutefois, il faut prendre en compte que chaque clone provient de différents habitats caractérisés par une combinaison spécifique du taux de lumière, de l'intensité de la prédation par les vertébrés et les invertébrés et, de la distribution de la nourriture dans le temps et dans l'espace (Dodson *et al.* 1997). Dans le cas présent, les clones de *Daphnia magna* provenaient d'un lac hypereutrophe non-stratifié où la population de cyprinidés planctonivores était abondante. Cette daphnie devait probablement passer la plupart de son temps dans la partie inférieure du lac, dans une pénombre créée par la forte densité algale et la turbidité de l'eau.

#### **2.3.5. Nage de groupe: aspects génétiques**

Les facteurs de contrôle de la profondeur liés à l'aspect clonal ont été démontrés en laboratoire (De Meester 1991 in Young *et al.*) et peuvent offrir une explication alternative pour la plus grande cohésion dans des populations uniclonales lors des migrations verticales.

Cette hypothèse fut confirmée en 1995 par King, étudiant deux clones de *Daphnia longispina*. Ces derniers réalisaient une migration verticale nycthémerale. Toutefois, l'un des deux clones était localisé de manière significative à une plus grande profondeur que l'autre. Ces résultats constituent la première démonstration d'une étude de terrain et sur un daphniidé, qu'une population unispéciée est génétiquement subdivisée en groupes ayant différents patterns de migration verticale. Cette constatation pourrait expliquer l'hétérogénéité clonale des populations zooplanctoniques en fonction du facteur profondeur (King et Miracle, 1995).

Dans des études récentes montrant *Daphnia magna* cohabitant avec des poissons, on a pu remarquer la formation d'essaims. N'ayant apparemment pas de préférence pour leurs clones, ces formations denses sont plus probablement un mécanisme permettant la persistance des cladocères sous la pression de prédation d'une communauté ichthyologique (Mitchell *et al.* 1995.).

### **2.3.6. Influence de la taille**

Les comportements migratoires spécifiques de la taille de l'individu sont en accord avec l'hypothèse selon laquelle la prédation par les poissons planctonivores est la cause ultime de migration verticale chez le plancton. Les migrations sont réalisées par les grands individus alors que les petits ont une tendance à rester en surface. Pour exemple, la petite *D. cucullata* migrent très peu tandis que des espèces telles *D. hyalina* et *D. galeata* montrent des migrations très prononcées. Les juvéniles de ces deux dernières espèces ont un comportement semblable à *D. cucullata* (Sars, 1862) (Lampert 1992).

### **III : MATERIEL ET METHODES**

## CHAPITRE 3 : MATERIEL ET METHODES

Comme nous l'avons signalé au chapitre précédent, ce mémoire s'axe d'une part sur une étude globale du milieu prenant en compte la qualité physico-chimique et biologique des eaux de Luchy et, d'autre part - ce qui constitue la majeure partie de cette étude - la répartition d'espèces biologiques de type macroinvertébré, zoo- et phytoplanctonique. Tout au long de ce chapitre, nous allons passer en revue les différentes méthodes et le matériel utilisé pour mener à bien ce travail.

### 3.1. Etude globale du milieu étudié

#### 3.1.1. Présentation du milieu

L'alimentation de la pièce d'eau en amont de l'étang principal (E1 ; 0.7 ha) est assurée à la fois par une source située au fond de celle-ci et par des canalisations provenant des sources situées dans le massif d'épicéas au Nord-Est de la zone protégée. (fig 3.1.)

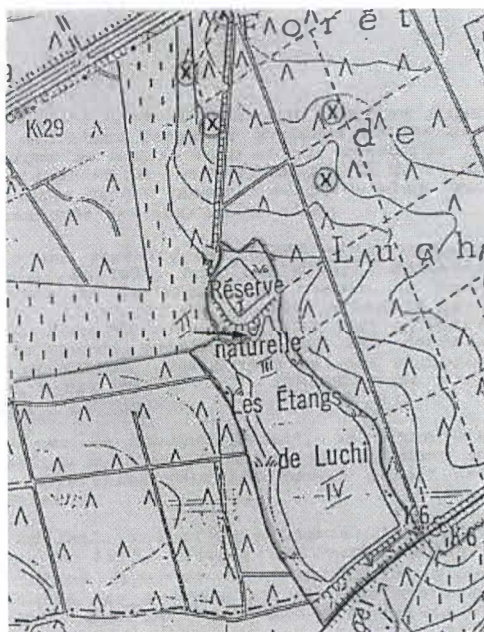


Figure 3.1. : carte de la réserve naturelle des étangs de Luchy. En vert : limites de la réserve. En bleu : le réseau hydrographique avec, longeant E1 (I), R1 et en bas à gauche, R2. X : emplacement des sources captées (extraits de cartes I.G.N. 64/7 et 64/8 ; Walot, 1992).



L'étang principal (E2 ; 8 ha) est, quant à lui, alimenté par le ruisseau de Noichiflan qui draine un bassin versant d'environ 190 ha. Une série de sources canalisées confluent vers ce ruisseau. La plupart d'entre elles se réunissent en deux ruisselets principaux - R1 recevant les eaux de ruissellement des prairies et R2 se situant dans les pessières - qui confluent à une centaine de mètres en amont de l'étang principal (Walot *et al.*, 1992).

### **3.1.2. Qualité physico-chimique des eaux**

Les échantillonnages ont été réalisés via la prise de deux litres d'eau de surface (mis dans des bidons en plastique) dans les zones suivantes :

- L'entrée du ruisseau dont la source d'alimentation est proche de la route principale (R1E) longeant la prairie ainsi que la sortie de celui-ci (R1S) ;
- Le ruisseau longeant les pessières et la prairie (R2) ;
- L'étang en amont (E1) ;
- L'étang principal dans ses parties amont (E2E) et aval (E2S) ;

Ces échantillonnages ont été faits juin 2001 lors du déroulement des cycles de 24h et des collectes de macroinvertébrés. Lors de ces prélèvements, les paramètres physico-chimiques de base (pH, t°, D.O.) furent mesurés sur le terrain même au moyen d'un pHmètre ou d'un oxymètre. Pour les mesures plus complexes à analyser, l'eau récoltée fut soit gardée brute (analyse de l'alcalinité) soit filtrée sur des filtres GF/C 47mm et stockée au surgélateur.

#### **3.1.2.1 mesure du pH**

La valeur du pH dépend de l'équilibre carbonates-bicarbonates et est donc sensible à une modification de la concentration en CO2 dissous. Cette mesure doit donc se réaliser sans délai sur le terrain. La mesure du pH se fait au moyen d'un pHmètre (WTW) à lecture digitale préalablement étalonné pour des pH 4, 7 et 9.

#### **3.1.2.2 Mesure de la conductivité**

La conductivité de l'eau est en fait la capacité de cette même eau à conduire un courant électrique. Cette capacité est d'autant plus élevée que cette eau contient d'ions. La conductivité varie avec la température, qui affecte la mobilité des ions (augmentation de 2,5% par °C) : on la ramène donc à une température de référence.

Cette conductivité, exprimée en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , est mesurée au moyen d'un conductivimètre (WTW). La mesure de la température se fait via un capteur intégré dans la cellule de mesure.

### **3.1.2.3 Mesure de l'alcalinité**

L'alcalinité des eaux naturelles est due à tout ion se comportant comme un accepteur de protons. Celle-ci va donc être liée au pH et sera essentiellement imputable aux bicarbonates dans la gamme de pH 4,5-8,3.

La mesure de l'alcalinité se fait par titrage acidimétrique (HCl 0,005 N) en présence d'un indicateur virant à pH 4,5. Elle correspond à la quantité d'acide ajouté pour obtenir le virage de ce même indicateur. Elle s'exprime  $\text{m}\text{eq}/\text{l}$ .

### **3.1.2.4 Mesure de l'oxygène**

L'oxygène dissous dans l'eau résulte d'un compromis entre les activités physiques (échanges avec l'oxygène atmosphérique), biologiques (photosynthèse, nitrification, respiration,...) et éventuellement physico-chimiques. Cette concentration suit donc une dynamique perpétuelle et doit donc être mesurée avec précaution dans les délais les plus brefs possibles. La mesure se fait via l'utilisation d'un oxymètre (WTW) et est exprimée en  $\text{mg}/\text{l}$  ou en pourcentage de saturation..

### **3.1.2.5 Dosage des cations**

Les cations majeurs ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ ) sont analysés par spectrométrie d'absorption atomique (S.A.A.) à partir d'un échantillon de 50 ml conservé au réfrigérateur et conditionné avec 0,5 ml d'HCl 20%.

#### **Procédure :**

Avant de commencer la S.A.A., il faut préparer des dilutions adéquates pour obtenir des courbes-étalon des différents ions à doser. Les solutions-stock (1000 ppm) sont préparées avec des étalons Merck et conservées au frigo. Les gammes-étalon dépendent de la sensibilité et des performances du matériel de mesure : on préparera les dilutions dans l'eau, dans des ballons jaugés de 100 ml, en ajoutant 0,5 ml d' HCl 20 % avant l'ajustement final au trait. Si

les échantillons doivent être dilués, on doit également veiller à ce que la proportion d'HCl reste similaire à celle des étalons. Il suffit ensuite de passer les échantillons dans le S.A.A. au niveau d'énergie qui lui est caractéristique. Cette manipulation a été réalisée au laboratoire de biologie végétale.

### **3.1.2.6 dosage des chlorures**

Les ions  $\text{Hg}^{++}$  réagissent stœchiométriquement avec les ions  $\text{Cl}^-$  pour former un complexe stable et soluble. La fin de la réaction est détectée par la diphénylcarbazone, qui complexera les ions  $\text{Hg}^{++}$  en excès.

#### **Réactifs :**

1. Solution stock de nitrate de mercure :

Dissoudre 5,24 g de nitrate mercurique hémihydrate ( $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) dans 50 ml d' $\text{H}_2\text{O}$  contenant 0,5 ml d' $\text{HNO}_3$  concentré, diluer à 1 l et agiter.

2. Solution standard de NaCl :

Dissoudre 1,6484 g de NaCl (séché à 120-250 °C) dans 200 ml d' $\text{H}_2\text{O}$  et diluer à 1 l; 1 ml de cette solution correspond à 1 mg de  $\text{Cl}^-$ .

3. Indicateur à la diphénylcarbazone :

Dissoudre 0,5 g de diphénylcarbazone et 0,05 g de bleu de bromophénol dans 100 ml d'éthanol. Cette solution doit être stockée dans un flacon sombre.

4. Acide nitrique N/20 :

Diluer 3,2 ml d' $\text{HNO}_3$  concentré dans 1 l d' $\text{H}_2\text{O}$ .

5. NaOH N/20 :

Dissoudre 2 g de NaOH et porter à 1 l de volume.

6. Solution standard de nitrate mercurique :

Diluer deux fois la solution-stock de nitrate de mercure. Titrer cette solution sur des aliquotes de 50 ml de la solution standard de NaCl. Faire la moyenne d'au moins trois titrage pour déterminer le titre de la solution standard de  $\text{HgNO}_3$ .



**Procédure :**

A une prise d'eau de 50 ml, on ajoute 5 à 10 gouttes de l'indicateur 3. Si une couleur bleue, violacée ou rouge se développe, ajouter de l' $\text{HNO}_3$  N/20 jusqu'à virage au jaune, puis rajouter 1 ml d' $\text{HNO}_3$  N/20. Si une couleur jaune-orangée apparaît, ajouter du NaOH N/20 jusqu'à retour au jaune, puis rajouter 1 ml d' $\text{HNO}_3$  N/20. Titrer avec la solution standard de  $\text{HgNO}_3$  jusqu'au virage au bleu violacé. Titrer de l'eau distillée (blanc) dans les mêmes conditions.

**Calcul :**

$$\text{Mg/l Cl}^- = \frac{[\text{vol. HgNO}_3 \text{ (ml)} - \text{blanc (ml)}] \times \text{titre HgNO}_3 \times 35,5 \times 1000}{\text{Vol. échantillon (ml)}}$$

**3.1.2.7 Dosage des sulfates**

En milieu acide, les ions sulfates sont précipités avec le chlorure de baryum de manière telle que le sulfate de baryum ainsi formé présente un état trouble uniforme. A l'aide d'un colorimètre, cette suspension sera mesurée à 420 nm.

**Réactifs :****1. Réactif de conditionnement :**

50 ml de glycérol ( $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ ); 300 ml d'eau distillée ; 75 g de chlorure de sodium ; 30 ml d'acide chlorhydrique concentré ; 100 ml de propanol-2 (alcool isopropylique  $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$ ). Il est important de dissoudre d'abord le sel dans l'eau distillée, puis d'ajouter l'acide et l'alcool.

**2. Chlorure de baryum ( $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ):**

Un aliquote de cristaux d'environ 0,1 g est suffisant au dosage.

**3. Solution standard :**

Préparation d'une solution-stock de 1000 ppm.

$$1 \text{ ml} = 1 \text{ mg SO}_4^{2-}$$

Dissoudre 1,479 g de sulfate de sodium anhydre ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) dans de l'eau distillée et porter à un volume de 1 l.

### **Dosage proprement dit :**

En vue de l'établissement de la courbe-étalon, préparer des solutions de 5, 10, 15, 20, 25, 30 mg/l. Utiliser des cellules de 2 cm de parcours optique. Dans des fioles jaugées de 100 ml, on ajoutera respectivement 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5, 3 ml de la solution standard de sulfate à 1000 ppm. Pour l'analyse des échantillons, ajouter 5 ml du réactif de conditionnement à une prise d'eau de 100 ml et mélanger sur agitateur magnétique. Ajouter l'aliquote de chlorure de baryum et agiter exactement 1 minute à vitesse constante. Ensuite, lire cette suspension à 420 nm.

### **3.1.2.8 Dosage de l'azote sous ses différentes formes**

#### **Dosage des nitrites :**

La diazotation de la sulfamide en milieu acide et sa copulation avec la N-(1 naphthyl) éthylène diamine donne un complexe coloré pourpre peuvent faire l'objet d'un dosage colorimétrique.

#### **Réactifs :**

1. Réactif de coloration :

2,5 g de sulfanilamide ; 0,25 g de dichlorhydrate N-(1 naphthyl) éthylène diamine ; 200 ml d'eau milliQ et 25 ml d'acide phosphorique 85 %. Porter à 250 ml.

2. Solution-étalon nitrite 100 mg N-NO<sub>2</sub> /l:

0,493 g NaNO<sub>2</sub> ; 1l eau milliQ.

3. Solution-étalon nitrite 1 mg N-NO<sub>2</sub> /l:

Diluer 100 fois la solution 2.

#### **Mesures à proprement parler :**

En vue de l'établissement de la droite d'étalonnage, réaliser une série de dilutions de la solution 3 de manière à obtenir la gamme de concentrations suivante : 0, 5, 25, 50, 75, 100, 200 µg N-NO<sub>2</sub>/l.

Prendre 2 ml de l'échantillon ou du standard ainsi que 150 µl du réactif 1 et les mettre directement dans des cellules plastiques pour spectrométrie. Agiter, incubé 10 minutes à faible lumière et procéder aux mesures de l'absorbance à 540 nm. Pour l'expression des

résultats, se référer à la droite d'étalonnage qui donne directement la teneur en nitrites en  $\mu\text{g N-NO}_2/\text{l}$ .

### **Dosage des nitrates :**

Les nitrates sont réduits, par agitation sur du cadmium spongieux, en nitrites qui sont, eux-mêmes, dosés colorimétriquement.

#### **Réactifs :**

1. Solution tampon de chlorure d'ammonium 0,7 M, pH= 8,5 :

37,4 g  $\text{NH}_4\text{Cl}$  ; 900 ml d'eau milliQ. Ajuster le pH à 8,5 à l'aide de  $\text{NH}_4\text{OH}$   $d=0,88$ . Après dissolution, porter à un volume de 1 l.

2. Cadmium de granulométrie 0,3-1,5 mm :

Nettoyer le cadmium à l'acide chlorhydrique 6 N ; le rincer une dizaine de fois à l'aide d'eau mQ ; le conserver sous eau jusqu'à son utilisation.

3. Réactif de coloration :

Voir réactif de coloration des nitrites.

4. Solution-étalon nitrates 100 mg  $\text{N-NO}_3/\text{l}$ :

0,303 g de  $\text{NaNO}_3$  pour 500 ml d'eau mQ.

5. Solution-étalon nitrates 5 mg  $\text{N-NO}_3/\text{l}$ :

Diluer 20 fois la solution 4.

#### **Etablissement de la droite d'étalonnage :**

Réaliser une série de dilutions de la solution-étalon 5 de manière à obtenir la gamme de concentrations suivante : 0, 1, 2, 3, 4, 5 mg  $\text{N-NO}_3/\text{l}$ .

Appliquer l'étape de réduction décrite ci-dessous.

### **Etape de réduction :**

Dans un tube de 10 ml à bouchon vissé, introduire successivement :

- 4,5 ml d'eau milliQ,
- 1 ml de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  ; 0,7 M, pH=8,5,
- environ 2 g de cadmium spongieux,
- 0,5 ml d'échantillon ou de standard.

Boucher les tubes, répartir le cadmium sur la tranche et les placer en position horizontale sur la table agitante (100 excursions/minute). Laisser agiter 120 minutes.

### **Mesures :**

Les mesures se font directement dans des cellules plastiques pour spectrométrie. Il faut y introduire les volumes suivants :

- 1 ml d'eau milliQ,
- 1 ml d'échantillon ou de standard réduit,
- 150  $\mu\text{l}$  de réactif de coloration.

Agiter, incuber 10 minutes à faible lumière et procéder aux mesures de l'absorbance à 540 nm. Pour l'expression des résultats des échantillons, se rapporter à la droite d'étalonnage qui donne directement la teneur en  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$  en mg/l. La teneur en azote nitrique est dès lors obtenue par différence entre l'azote ainsi déterminé et l'azote nitreux.

### **Dosage de l'ammoniaque (ou ion ammonium $\text{NH}_4^+$ ):**

L'ammoniaque réagit avec les ions hypochlorites, issu de l'hydrolyse alcaline du dichloroisocyanurate et avec le salicylate de sodium (pH= 12,6) en présence du nitroprussiate qui agit comme catalyseur pour former un composé coloré. La coloration verte du réactif est mesuré au spectrophotomètre à 655 nm.

### **Réactifs :**

#### **1. Réactif salicylate :**

Dissoudre 130 g de salicylate de sodium ( $\text{C}_7\text{H}_5\text{NaO}_3$ ) et 130 g de citrate trisodique ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) dans 650 ml d'eau distillée. Ajouter 0,97 g de nitroprussiate de sodium  $\text{Na}_2(\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  après s'être assuré que le pH était inférieur à 8. Après dissolution, porter à un volume d'1 l. Ce réactif doit être stocké dans un flacon sombre.



2. Réactif dichloroisocyanurate de sodium ( $C_3Cl_2N_3NaO_3 \cdot 2H_2O$ ):

Dissoudre 32 g de NaOH dans 500 ml d'eau distillée. Après refroidissement de la solution, ajouter 2 g de dichloroisocyanurate de sodium. Porter à un volume d'1 l. Ce réactif doit être stocké dans un flacon sombre.

3. Solutions-étalons :

Solution-stock : Dissoudre 3,819 g de chlorure d'ammonium ( $NH_4Cl$ ) dans 800 ml d'eau distillée. Amener le volume à 1 l. Cette solution contient 1 mg  $NH_4^+$ -N/ml.

Solution standard : Préparer une dilution de 100 fois à partir de la solution-stock. Cette solution contient 10  $\mu g$   $NH_4^+$ -N/ml.

**Etablissement de la courbe d'étalonnage :**

Préparer des étalons entre 0,05 et 1 mg N/l, à partir de la solution standard : prélever de 0,5 ml à 10 ml de la solution standard et diluer dans 100 ml dans un ballon jaugé.

**Dosage à proprement parler :**

A une prise d'essai de 50 ml, ajouter 4 ml de la solution 1 et 4 ml de la solution 2. Mélanger après l'addition de chaque réactif et laisser reposer 10 minutes à la température ambiante.

L'absorbance sera mesurée dans des cellules pour spectrophotomètre à 655 nm.

**3.1.2.9 Dosage des orthophosphates**

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les ortho-phosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage colorimétrique.

**Réactifs :**

1. Solution d'acide ascorbique 2 % ( $C_6H_8O_6$ ) :

Ce réactif est à préparer au moment du dosage. Aussi, on le conditionnera en pots avec 1 g du produit. On le diluera avec 50 ml d'eau distillée avant le dosage ; on peut conserver la solution une semaine au frigo.

## 2. Réactif molybdate-antimoine :

Dissoudre 4,8 g d'heptamolybdate d'ammonium  $(\text{NH}_3)_6\text{Mo}_7\text{O}_{22} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  et 0,1 g de tartrate d'antimoine et de potassium  $(\text{KSbOC}_2\text{H}_4\text{O}_6)$  dans un volume final de 500 ml d' $\text{H}_2\text{SO}_4$  4 N.

## 3. Solutions-étalons :

Solution-stock : Dissoudre 0,1757 de dihydrogénophosphate de potassium  $(\text{KH}_2\text{PO}_4)$  dans un volume final d'un litre d'eau distillée. Cette solution contient  $40 \mu\text{g P/l}$ .

Solution standard : Préparer une dilution de 10 fois à partir de la solution-stock pour un volume final de 100 ml d'eau distillée. 1 ml de cette solution =  $4 \mu\text{g P/ml}$ .

### Etablissement de la courbe d'étalonnage :

Préparer des dilutions de 40 à 400  $\mu\text{g P/l}$  : dans des fioles jaugées de 50 ml, ajouter respectivement de 0,5 à 5 ml de la solution standard  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ .

### Dosage à proprement parler :

A une prise d'essai de 40 ml d'eau filtrée, ajouter 2 ml de la solution d'acide ascorbique à 2% et 5 ml du réactif molybdate-antimoine. Attendre 30 minutes à température ambiante avant de lire au colorimètre à 882 nm, dans des cellules de parcours optique adaptées à la gamme de concentrations.

Rem : Toutes ces techniques d'analyse de la qualité physico-chimique des eaux sont tirées du manuel suivant : Manuel pratique des techniques d'analyse de l'eau : analyses physico-chimiques (Descy, 1989).

### 3.1.3 Qualité biologique du milieu

L'étude de la qualité biologique du milieu possède un but double : elle nous permet d'une part de compléter les informations données par la physico-chimie afin d'avoir une caractérisation tout à fait complète du milieu étudié et, d'autre part, de répertorier les éventuels maillons de la chaîne trophique pouvant causer une migration chez *Daphnia magna*.

Les différents prélèvements de macroinvertébrés dans la zone littorale de l'étang principal ont été réalisés en juin 2001, ce, au moyen d'un filet de type troubleau. Les échantillons ainsi récoltés ont, en premier lieu, été stockés dans des bidons de 10 l contenant du formol 4 %. Ensuite, ces bidons ont été vidés et les différents macroinvertébrés présents ont été regroupés par famille. Après ce premier tri, ils ont été identifiés au binoculaire au moyen des clés de détermination suivantes :., "Introduction à l'étude des macroinvertébrés des eaux douces" (Tachet *et al* 1980) et "Invertebrates of streams and rivers" (Quigley, 1977). Les individus de la même espèce ont été placés dans les mêmes piluliers. Ces derniers étant préalablement remplis de formol 4 %.

L'analyse des résultats faisant suite à la détermination sera de type qualitative et non quantitative étant donné que nous ne connaissons pas avec exactitude le volume d'eau prélevé. Toutefois, ayant travaillé sur un même volume pour toutes les espèces, nous pourrons parler d'abondance relative d'une espèce par rapport à l'autre. Les caractéristiques écologiques des différents individus et leur présence comme bioindicateur (I.B.G.N.) seront ensuite mises en rapport avec la qualité physico-chimique des eaux.

### **3.2 Dynamique phyto- et zooplanctonique**

Dans cette partie, nous allons nous intéresser à l'étude de la dynamique migratoire de *Daphnia magna* grâce à cinq cycles de 24h nous permettant de connaître la répartition géographique de cette espèce aux différentes heures de la journée. Lors de ces cycles, nous allons également nous intéresser à la principale source de nourriture de ce cladocère –le phytoplancton- ainsi qu'à son principal prédateur –les larves *Chaoborus* sp.- afin de bien comprendre l'éventuel rôle qu'ils pourraient jouer dans cet aspect de l'écologie zooplanctonique. Lors de ces campagnes, le pH, la température et la concentration en oxygène dissous seront mesurés pour chaque tranche horaire et en chaque point au moyen d'une sonde multiparamétrique Hydrolab afin de bien pouvoir différencier les zones étudiées par ces caractéristiques et de voir leur implication éventuelle.

### **3.2.1 Choix des techniques utilisées**

#### **3.2.1.1 choix des différents sites et de la fréquence des prélèvements**

Lors du choix des différents sites de prélèvement, nous avons voulu mettre l'accent essentiellement sur le cycle de migration horizontale du zooplancton au cours d'une journée, sans pour autant négliger l'aspect vertical. En effet, ce dernier ayant fait l'objet de bon nombre de publications, il nous a paru plus original de mettre en évidence les migrations allant de la zone littorale à la zone pélagique et vice-versa.

En connaissance du milieu, nous avons délimité six zones distinctes :

- la zone littorale 1 (Z.L.1), correspondant à la rive droite de l'étang.
- la zone littorale 2 (Z.L.2) correspondant au Nord de l'étang, ayant pour caractéristique d'être fort peu en contact avec la zone pélagique.
- la zone littorale 3 (Z.L.3), correspondant à la rive gauche de l'étang, se différenciant de la rive droite de part sa pente plus raide et son ensoleillement moins conséquent.
- la zone pélagique de surface (Z.P.1)
- la zone pélagique de 2.5m (Z.P.2), correspondant à la demi-profondeur de l'étang.
- la zone pélagique de 5m (Z.P.3), correspondant à la profondeur maximale de l'étang.

De telle manière, nous aurons des données pour chaque zone caractéristique de l'étang. La fréquence avec laquelle nous allons récolter l'information restait à déterminer lors des différents cycles nycthémeraux: en faisant le repérage du terrain, il nous a paru réaliste de réaliser les prélèvements toutes les 4h, ce qui semble être un bon compromis pour récolter suffisamment de données. Ils commenceront à 20h et se termineront à la même heure le lendemain afin d'avoir un répliquat sur une heure, ce qui nous permettra de voir si nous avons bien affaire à un cycle journalier. Les différents « tours » d'étang se feront sur un bateau pneumatique léger de type Zodiac.



### **3.2.1.2 choix de la technique d'échantillonnage**

Nous avons longuement hésité entre l'utilisation d'un filet et d'une trappe pour la collecte du zooplancton. Le filet est surtout utilisé en milieu marin mais est encore très répandu en eaux continentales. Constitués d'un cône en soie ou en nylon surmontant un récipient terminal à la manière d'un entonnoir, les filets permettent de moissonner, horizontalement ou verticalement, une grande quantité de plancton. Les trappes, quant à elles, sont des récipients d'un volume déterminé dont le toit et le plancher s'escamotent librement autour d'une charnière lâche. Une des parois latérales de ces trappes est perforée et un filet se terminant par un réceptacle permettant la récolte du plancton y est adapté. L'avantage du filet par rapport à la trappe est qu'il permet de drainer de grands volumes d'eau, limitant ainsi les risques d'erreurs liés à la microhétérogénéité spatiale du plancton. Son désavantage par rapport à la trappe est que le volume prélevé est connu avec une moins grande exactitude (dans ce cas-ci 20 l exactement). Il a donc fallu trouver un compromis entre l'erreur liée à l'exactitude du volume et celle liée à la nature du volume prélevé.

Etant donné que nous travaillons en partie dans des zones littorales où le niveau de l'eau est faible et la présence de macrophytes conséquente, il nous a paru plus intelligent d'utiliser la trappe de 20 l dans ces zones. Le problème de l'hétérogénéité spatiale à, quant à lui, été réglé comme suit : nous avons décidé de faire cinq prélèvements d'eau par zone étudiée, ce qui nous fait un volume total de 100 l par zone. Ces cinq prélèvements seront rassemblés en un échantillon caractéristique d'une zone donnée et d'une heure donnée. Par soucis d'efficacité, nous avons gardé cette même technique à la fois pour les zones pélagiques et les zones littorales.

### **3.2.1.3 Périodicité des campagnes**

Dans bon nombre de cas, la périodicité est un facteur essentiel de l'écologie planctonique en milieu lacustre. Ceci est lié au fait que tous les individus présents dans le milieu sont issus de la population résidente, ce qui n'est pas le cas en milieu fluvial. Toutefois, lors de ce mémoire, l'intérêt est de comprendre un comportement migratoire en l'absence de prédation par une communauté de poissons zooplanctonophages. Dès lors, peut être vaut-il mieux se focaliser sur d'autres facteurs que la périodicité ?

En effet, la migration du zooplancton dépend de différents facteurs susceptibles d'agir conjointement. Etant donné que nous nous focalisons sur l'impact de la prédation sur et par *Daphnia magna* sur la migration de cette espèce, il est plus important de travailler dans les mêmes conditions que de travailler sur base d'une certaine périodicité. En suivant cette réflexion, les journées de terrains se sont déroulées à des moments où les facteurs physiques n'étaient pas défavorables au comportement migratoire : ciel dégagé, soleil présent, température élevée et vent faible. De telle manière nous éliminons les effets néfastes pouvant « parasiter » l'information récoltée. Les dates de collectes sont : 29/5 ; 16/6 ; 23/6 ; 3/7 et 3/8 de l'année 2001. Malheureusement, cette cinquième collecte n'a pu être réalisée à cause de problèmes techniques, l'étang ayant été vidé d'une tranche d'eau de 5 m par la D.N.F..

### **3.2.2 Collecte et analyse des données**

#### **3.2.2.1 Le phytoplancton**

La collecte du phytoplancton se déroule à deux moments, dans le cycle : à midi et à minuit. Il s'agit là des moments de la journée où l'intensité lumineuse est respectivement à son maximum et à son minimum, ce qui nous permet, dans les limites du possible, de voir comment le phytoplancton se répartit au sein de l'étang. Les échantillons sont prélevés en surface et conservés dans des bidons plastiques de 1 l. Dans le cas des collectes réalisées en profondeur (2,5 m et 5 m), l'eau a été récoltée au moyen d'une bouteille de type Van Dorn. Celle-ci est directement filtrée sur le terrain sur filtre Whatman GFC, ce, en prenant préalablement le soin d'homogénéiser l'échantillon à analyser. Les volumes filtrés dépendent de la densité de l'échantillon et vont de 250 ml à 1 l. Une fois la filtration terminée, le filtre est placé dans une fiole de 20 ml directement mise dans l'azote liquide. De retour au laboratoire, ils sont conservés dans un congélateur jusqu'à l'extraction.

L'extraction du matériel algal contenu sur le filtre se fait par ajout de 10 ml d'acétone 90% de qualité HPLC. Les fioles sont placées dans un bain à ultra-sons contenant de la glace et soniquées durant quinze minutes. Après avoir passé une nuit au réfrigérateur, cette étape est répétée une seconde fois. L'extrait est ensuite filtré sur des cartouches filtrantes de 0,22 µm de porosité et placé dans une fiole en verre sombre de 3 ml. Ces fioles sont stockées au congélateur jusqu'à l'analyse en HPLC.

L'HPLC (High Performance Liquid Chromatography) est une technique qui, via une colonne de chromatographie, permet la séparation des différents pigments algaux. Suite à cette analyse pigmentaire, il paraît intéressant de faire une vérification des résultats obtenus via une observation microscopique des échantillons collectés aux différentes dates. Pour pouvoir réaliser cette étude complémentaire, des prélèvements de phytoplancton ont été effectués à chaque campagne et conservés dans du lugol et déterminés au moyen des ouvrages suivants : « Flore des diatomées » (Germain 1981) ; « Les algues d'eau douce : les algues vertes (Bourelly 1972) ; « Les algues d'eau douce : les algues bleues et rouges », (Bourelly 1977) ; « Les algues d'eau douce : les algues jaunes et brunes » (Bourelly 1968) ; « Die binnengewässer : Das phytoplankton des süßwassers, teil 1 » (Thienemann 1938) ; « Die binnengewässer : Das phytoplankton des süßwassers, teil 2.1 » (Thienemann 1941) ; « Die binnengewässer : Das phytoplankton des süßwassers, teil 3 auflage 2" (Thienemann 1968) ; « Die binnengewässer : Das phytoplankton des süßwassers, teil 2.2 » (Thienemann 1942) ; « Die binnengewässer : Das phytoplankton des süßwassers, teil 4 » (Thienemann 1955).

### **3.2.2.2 Le zooplancton**

La collecte des échantillons se déroule, lors des différents cycles de 24 heures, toutes les quatre heures dans les trois zones pélagiques et littorales. Celle-ci est effectuée au moyen d'une trappe de type Schindler de 20 l dont les mailles du filet sont d'un diamètre de 63  $\mu\text{m}$ . Par heure et par site, nous effectuerons cinq prélèvements afin de contrer l'hétérogénéité spatiale. Les cladocères et autres individus planctoniques ainsi récoltés seront gardés dans du formol 4 % saturé en sucrose et contenus dans des bidons de P.V.C. de 250 ml. La densité de ce liquide de préservation évite l'artéfact gênant que constitue l'écartement des valves de la carapace, handicapant pour l'identification. Une fois de retour au laboratoire, ces échantillons vont, avant d'être analysés en microscopie, être filtrés une seconde fois. Cette seconde filtration a pour but de concentrer l'échantillon et de l'amener à un volume final de 50 ml. Pour ce faire, les 250 ml initiaux sont déversés dans une tube en P.V.C. obstrué par un filtre dont les mailles ont un diamètre de 63  $\mu\text{m}$ . Une fois la totalité de l'échantillon passée sous filtre, nous reprenons celui-ci et le rinçons à l'aide de formol 4 % saturé en sucrose. Le filtrat obtenu est déversé dans un tube Falcon de 50 ml et porté à un volume de 50 ml avec ce même formol sucré.

Ces sous-échantillons vont ensuite faire l'objet d'un comptage au microscope inversé, grossissement 50 x. Après homogénéisation du sous-échantillon, nous avons pris une quantité représentative de l'échantillon. Cette quantité va de 1 ml, pour les échantillons les plus concentrés en plancton, à la totalité de l'échantillon pour les moins concentrés. Il suffira par la suite de multiplier la prise d'eau par un facteur k afin d'avoir le nombre de cladocères par 100 l d'eau au sein de l'étang de Luchy.

Ayant répertorié des individus de taille "20" à "90" sur le graticule, il convenait de connaître leur taille réelle. Celle-ci a pu être déterminée par simple régression linéaire en comparant ces graduations du graticule à un millimètre étalon.

Une dernière étape consiste en l'observation des autres taxons zooplanctoniques contenus dans les différents échantillons. L'identification de ces organismes se base, pour les cladocères, sur la clef de détermination d'Amoros (1984), pour les rotifères, grâce à l'aide de Viroux et sur l'ouvrage de Pourriot (1986) et pour les copépodes, sur "Les copépodes des eaux continentales" de Dussart (1967). Il faut toutefois signaler que, pour ces derniers, nous ne les avons classifiés que par ordres présents.

### **3.2.2.3 Les chaoboridés**

La collecte des chaoboridés s'est effectuée de la même manière que celle du zooplancton, c'est à dire à la trappe de schindler 20l. Le comptage, quant à lui, s'est déroulé de manière différente. Les *Chaoborus* sp. ont été comptés directement dans le sous-échantillon de 50 ml et rapportés à un volume de 1 m<sup>3</sup>. La répartition de ceux-ci aux différents moments de la journée sera comparée avec celle de *Daphnia magna* afin de comprendre le rôle de ce macroinvertébré dans la migration de l'espèce étudiée.



**IV : DESCRIPTION PHYSICO-CHIMIQUE ET  
BIOLOGIQUE DES EAUX DE LA RESERVE DE  
LUCHY**

## **CHAPITRE 4 : DESCRIPTION PHYSICO-CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE DES EAUX DE LA RESERVE DE LUCHY**

Une première approche, dans notre travail, consiste à bien maîtriser les paramètres de base du milieu étudié. Celle-ci passe par l'analyse physico-chimique des eaux, et par l'analyse de la communauté de macroinvertébrés. Parmi ceux-ci se retrouveront les différents prédateurs susceptibles de jouer un rôle dans la migration du zooplancton. Les échantillonnages ont été réalisés le 16 juin 2001 via la prise d'eau de surface dans les zones suivantes :

- L'entrée du ruisseau dont la source d'alimentation est proche de la route principale (R1E) longeant la prairie ainsi que la sortie de celui-ci (R1S) ;
- Le ruisseau longeant les pessières et la prairie (R2) ;
- L'étang en amont (E1) ;
- L'étang principal dans ses parties amont (E2E) et aval (E2S) ;

### **4.1 Qualité physico-chimique**

L'analyse -basée sur les paramètres classiques- des échantillons prélevés nous donne les résultats suivants pour les différents paramètres mesurés (Tableau 4 .1).

Tableau 4.1. : Résultats des analyses physico-chimiques des eaux de Luchy.

Points de prélèvements	R1E	R1S	R2	E1	E2E	E2S
Date 16/06/01						
Paramètres						
température (°C)	10,6	12,5	12,3	18,5	22,3	22,3
pH	6,51	6,45	6,4	6,82	6,81	7,03
conductivité (µs/cm)	147	128	75	97	92	89
O <sub>2</sub> dissous mg/l	9,7	10,3	10,9	11,1	10,6	10,7
O <sub>2</sub> dissous % sat.	104,3	120	124	127,2	123,3	123,6
Na <sup>+</sup> mg/l	2	2	2,4	3	2,2	2,3
K <sup>+</sup> mg/l	0,08	1,4	0,88	0,69	0,83	erreur
Ca <sup>++</sup> mg/l	1,6	6,8	4,1	4,4	5,3	6,3
Mg <sup>++</sup> mg/l	0,7	2,9	1,7	1,7	2,3	2,1
CaCO <sub>3</sub> mg/l	10,8	10,3	7,1	11,1	12,1	11,3
Cl <sup>-</sup> mg/l	2,5	2	0,9	2,7	2,5	2,5
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> mg/l	5,9	10,2	11,0	3,3	3,0	3,3
P-PO <sub>4</sub> µg/l	31,1	32	42,4	35,2	28,9	27,2
N-NH <sub>4</sub> mg/l	0,09	0,14	0,24	0,08	0,09	0,09
N-NO <sub>2</sub> µg/l	5,2	4,1	5,3	5,8	4	4
N-NO <sub>3</sub> mg/l	1,6	1,4	1,5	1,7	0,7	0,5

La température la plus faible est mesurée à l'entrée de R1 (source ; 10,6°C). Celle-ci va augmenter d'amont en aval pour atteindre une valeur maximale de 18,5°C au niveau du petit étang (E1) et de 22,3°C au sein de l'étang principal (E2E et E2S). Ces différences de température peuvent provenir du fait que, d'une part, les plus basses sont observées dans un milieu lothique et que, d'autre part, les étangs sont caractérisés par une faible profondeur, facilitant le réchauffement de leurs eaux.

Le pH varie de 6,4 en R2 à 7,03 au niveau de la digue de l'étang principal (E2) . Nous sommes donc en présence d'une eau à pH, dans la plupart des cas, légèrement acide, classant ces eaux dans le type ardennais de Symoens (1959). Nous remarquons toutefois que le pH est légèrement plus élevé au sein de l'étang principal, ce qui résulte probablement de l'assimilation du CO<sub>2</sub> par les macrophytes y résidant.

Les deux ruisseaux d'alimentation, R1 et R2, présentent des conductivités relativement différentes. En effet, la conductivité du ruisseau 1 ( $R1S = 128 \mu S/cm$ ) est plus élevée que celle du ruisseau 2 ( $75 \mu S/cm$ ). La conductivité des deux étangs est quant à elle intermédiaire, se situant entre  $89 \mu S/cm$  (E2S) et  $97 \mu S/cm$  (E1). Il s'agit ici de conductivités relativement faibles qui traduisent d'une faible minéralisation et qui sont du même ordre que lors de l'analyse des eaux en 1991 (annexe 1).

L'oxygène dissous est en saturation dans tout le réseau hydrographique, allant de 104,3 % ( $9.7 \text{ mg/l}$ ) en R1E à 127,2 % ( $11.1 \text{ mg/l}$ ) en E1. Ces valeurs élevées sont à mettre en relation, pour les étangs, avec l'activité photosynthétique des végétaux aquatiques.

Il s'agit d'une eau appartenant au type ardennais de Symoens, c'est-à-dire une eau isovalente où les ions  $Ca^{++}$  prédominent très légèrement par rapport aux autres ions présents.

La concentration en  $Ca^{++}$  la plus faible est de  $1,6 \text{ mg/l}$  en R1E. Suite aux apports du bassin versant, cette concentration va augmenter pour atteindre une valeur maximale de  $6,8 \text{ mg/l}$  au sortir de ce même ruisseau.. La concentration en R2, longeant les pessières, est plus faible ( $4,1 \text{ mg/l}$ ). Le taux de  $Ca^{++}$  au sein des étangs varie de  $4,4 \text{ mg/l}$  en E1 à  $5,3 \text{ mg/l}$  en E2E pour terminer à une valeur de  $6,3 \text{ mg/l}$  en E2S (aval). Les valeurs minimales et maximales en 1991 étaient de  $6 \text{ mg/l}$  en R2 et de  $9.5 \text{ mg/l}$  en R2 (1991)

R1 est généralement plus minéralisé que R2 (ce qui est également observable au vu de l'alcalinité). Ces différences sont principalement marquées à tous les niveaux sauf, dans une moindre mesure, au niveau des ions sodium. Ces différences peuvent être le résultat des apports en minéraux du bassin versant de R1. En effet, bien que les origines des deux ruisseaux soient peu différentes, la source de R1 se situe près d'une route principale dont les ruissellements peuvent altérer la qualité de l'eau. Les concentrations de E1 sont également plus faibles que celles de E2.



Au niveau des nutriments, les valeurs obtenues pour les différents points d'échantillonnage permettent un classement des eaux de Luchy dans les eaux de qualité similaire à celle des eaux piscicoles salmonicoles dans les normes de qualité de base des eaux de surface, région Wallone (Annexe 1). Ceci correspond à une eau où le niveau de pollution est très faible.

Les valeurs observées en R2 et R1 diffèrent : les concentrations en nitrites et en phosphates sont plus élevée en R2, ceci étant dû au fait que R2, longeant une plus grande zone de prairies dans lesquelles on retrouve du bétail, est plus sujet à des apports en matières organiques que R1. Les concentrations en nitrites, nitrates et phosphates sont plus importantes au sein de l'étang E1 que dans l'étang E2 bien que restant très faibles dans l'échelle de pollution. La forme dominante de l'azote est constituée par les nitrates.

Les résultats de ces analyses ont été comparés avec ceux obtenus dans l'étude (Annexe 2) réalisée en 1991 dans le cadre de plans de gestions des réserves naturelles domaniales des étangs de Luchy (Walot et al., 1992).

La concentration en  $\text{Na}^+$ , en  $\text{CaCO}_3$ , en  $\text{Cl}^-$  et en  $\text{SO}_4^{--}$  sont plus faibles dans tout le réseau hydrographique actuellement qu'en mai 91; les concentrations en nitrites et en nitrates sont, quant à elles, plus élevées tout en restant dans la même gamme de niveaux de pollution. On peut donc dire que nous sommes en présence d'un milieu qui varie relativement peu dans le temps. L'eau que nous retrouvons au sein de la réserve naturelle est d'une très bonne qualité chimique, alors que nous avons certaines craintes quant à la proximité d'un axe routier, d'un axe ferroviaire et d'une éventuelle pollution provenant de la ferme de Luchy.

## 4.2 Qualité biologique

L'échantillonnage du 16 juin 2001 a permis de répertorier les taxons suivants :

(Tableau 4.2)

Tableau 4.2 : inventaire des taxons collectés le 16/06/01

MACROINVERTEBRES	biotope	alimentation
OLIGOCHETES		
Tubificidae	substrats meubles macrophytes	sédiments organiques microflore
Lumbriculidae	sédiments meubles macrophytes	débris organiques
HIRUDINES		
Erpobdellidae	Lacs, étangs	Invertébrés aquatiques
INSECTES		
EPHEMEROPTERES		
Baetidae <i>Cloëon</i>	cailloux macrophytes	algues, Chironomidae Oligochetes
PLECOPTERES		
Nemouridae	cailloux débris	débris végétaux
COLEOPTERES		
Dytiscidae	vase, mousse végétation	tout organisme aquatique
TRICHOPTERES		
Leptoceridae	végétation débris	plantes vasculaires microflore
DIPTERES		
Chaoboridae	pleine eau	microinvertébrés
Chironomidae	macrophytes vase, substrats durs	algues, débris microinvertébrés
Culicidae	vase pleine eau	fins débris microflore
HETEROPTERES		
Corixidae	macrophytes potamogeton	algues, débris

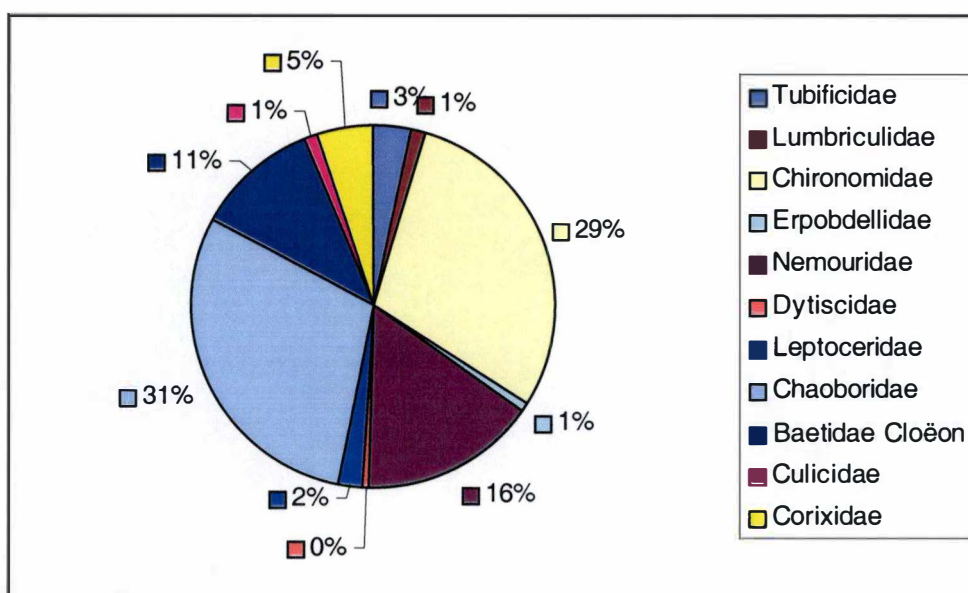


Figure 4.1 : abondances relatives (%) des taxons observés au sein de l'étang principal de Luchy.

Le résultat de cet inventaire nous a permis de répertorier 11 taxons différents. Le nombre de taxons observés aurait bien évidemment pu être augmenté par des observations répétées. Toutefois, malgré cette faible diversité, nous pouvons rendre compte des conclusions suivantes :

La majorité des espèces sont caractéristiques de milieux limnophiles et se retrouvent sur des substrats végétaux, caillouteux ou de pleine eau. Les espèces dominantes sont les chaoboridés (31 %), les chironomidés (29 %) et les nemouridés (16 %). Ces derniers sont des taxons relativement sensible à la qualité de l'eau et le fait de les retrouver de manière abondante dans le milieu confirme l'analyse chimique. Les chaoboridés et les notonectidés (0,4 %) constituent les seuls prédateurs potentiels de *Daphnia magna*. Toutefois, la population de notonectidés est relativement faible (0,4 %) et son impact sur la communauté (très abondante) de ce cladocère peut dès lors être considéré comme nul.

### **4.3 Conclusion**

Les eaux de la réserve naturelle ne présentent pas de pollution chimique selon les seuils établis (annexe 2), bien que le ruisseau 1 nécessite un contrôle strict de qualité étant donné qu'il peut être sujet à une pollution par les hydrocarbures vu la situation de sa source près d'une route à quatre bandes (Walot et al. 1992). La comparaison avec l'étude réalisée en 1992 nous montre une amélioration de la qualité physico-chimique du milieu, excepté en ce qui concerne les nitrites et les nitrates. Les résultats obtenus sont renforcés par une communauté de macroinvertébrés limnophiles qui, bien que peu diversifiée, témoigne de la bonne qualité des eaux.

**V : REPARTITION ET MIGRATION DE  
*DAPHNIA MAGNA* AU SEIN DE L'ETANG  
PRINCIPAL DE LUCHY CHAPITRE**



# CHAPITRE 5 : REPARTITION ET MIGRATION DE *DAPHNIA MAGNA* AU SEIN DE L'ETANG PRINCIPAL DE LUCHY

## 5.1 Inventaire des différentes espèces de zooplancton et phytoplancton répertoriées dans nos échantillons

### 5.1.1 Espèces de zooplancton

<u>Espèces présentes</u>	<u>Préférences écologiques.</u>
CLADOCERES	
1. <i>Eurycercus lamellatus</i> (Müller, 1785)	Herbiers des zones littorales, se nourrit principalement d'algues fixées du périphyton..
2. <i>Pseudochydorus globosus</i> (Baird, 1843) (1)	Zones littorale. Espèce nécrophage. Cette espèce est très présente dans la zone littorale la plus au Nord de l'étang (Z.L.2).
3. <i>Acroperus</i> sp.	Milieux oligotrophes, voire légèrement eutrophisés.
COPEPODES	
1. Cyclopoïdes	
2. Calanoïdes	
ROTIFERES	
1. <i>Asplanchna</i> sp. (Gosse, 1850)	Caractéristique des milieux oligotrophes.
2. <i>Keratella cochlearis</i> (Gosse, 1851) (2)	Espèce essentiellement détritivore.
3. <i>Trichocerca</i> sp. (Lamarck, 1801)	Eaux acides, mais peu minéralisées.
4. <i>Polyarthra</i> sp. (Ehrb., 1834)	Dépend du taxon.
5. <i>Euchlanis</i> sp. (Ehrb., 1832)	Dépend du taxon.
6. <i>Synchaeta</i> sp. (Ehrb., 1832)	Dépend du taxon.

L’observation du zooplancton confirme les résultats de notre analyse de qualité du milieu. En effet, on retrouve des espèces caractéristiques de milieux acides et faiblement eutrophisés.

Rem : Etant donné la complexité de la détermination des copépodes, nous nous sommes arrêtés au genre et avons pu observer des cyclopoïdes et des calanoïdes. Il est donc difficile de tirer des conclusions quant aux milieux caractéristiques dans lesquels on les y retrouve.

**5.5.2 Espèces de phytoplancton**

<u>Espèces présentes</u>
CHRYSOPHYCÉES
1. <i>Dinobryon divergens</i> (Ehrenberg, 1833)
2. <i>Synura</i> sp. (Ehrenberg, 1833)
CRYPTOPHYCÉES
1. <i>Chroomonas</i> sp. (Hansgirg, 1885)
2. <i>Cryptomonas</i> sp.(Ehrenberg, 1838)
DINOPHYCÉES
1. <i>Peridinium</i> sp. (Ehrenberg, 1832)
CYANOPHYCÉES
2. <i>Microcystis viridis</i> (Kutzing, 1833)
3. <i>Aphanocapsa</i> du groupe <i>planctonica</i> (Nägeli, 1849)
CHLOROPHYCÉES
1. <i>Euastrum</i> sp. (Ehrenberg, 1832)
2. <i>Eudorina</i> sp. (Ehrenberg, 1831)
3. <i>Cosmarium</i> sp. (Corda, 1834)
4. <i>Closterium</i> sp. (Nitzsch, 1817)
DIATOMÉES
1. <i>Asterionella</i> sp. (Hassal, 1855)
2. <i>Nitzshia acicularis</i> (Smith, 1922)

Au vu de ces observations, nous pouvons faire deux constatations sur le milieu étudié :

1. Les chrysophycées, abondantes dans ce milieu, sont caractéristiques de milieu plutôt oligotrophes. Ceci confirme les analyses physico-chimiques qui montrent une bonne qualité du milieu.
2. Les espèces de Chlorophycées observées sont de grande taille, Ce qui est caractéristique d’un milieu où la pression de grazing sur le phytoplancton est forte. En effet, les algues de grande taille sont beaucoup moins digestes que celles de tailles inférieures.

## 5.2 Simplification des données

Etant donné la complexité des données obtenues (annexes 3, 4, 5 et 6), il nous a paru intéressant, avant le traitement des données à proprement parler, de passer par une étape préliminaire de simplification. Pour ce faire, nous nous sommes concentrés sur le nombre de classe de tailles étudiées. Celles-ci ont été définies à partir du graticule équipant le microscope et sont : 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 et 90. il nous a semblé intéressant de se demander si certaines de ces classes de taille n'éprouvaient pas les mêmes schémas de migration, auquel cas ces classes de taille pourraient être regroupées au sein d'un ensemble commun. A cette fin, un coefficient de similarité a été calculé entre chaque classe de taille. Etant donnée le type de données (quantitatives et avec de nombreux double-zéros) nous avons utilisé la technique des  $\chi^2$  métriques (D15; Legendre & Legendre, 98). Sur base de ces similarités, un groupement selon l'association moyenne a été réalisé et les résultats sont présentés sous la forme d'un dendrogramme.

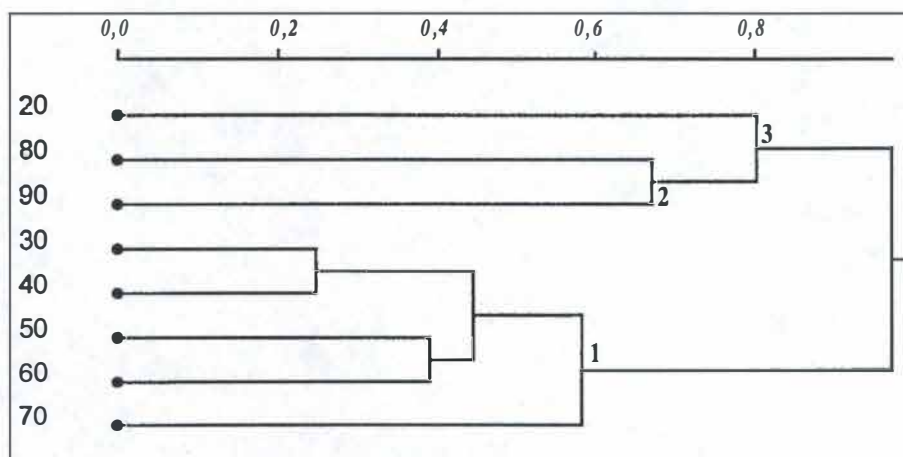


Figure 5.1 : Distances de comportements entre les différentes classes de taille.

En ordonnée, nous retrouvons les différentes classes de taille et en abscisse la distance. En (1) distance entre les classes de taille (30 à 70), en (2) entre 80 et 90 et en (3) entre 80, 90 et 20.

Nous voyons très clairement de faibles distances entre, d'une part, les classes 30, 40, 50, 60 et 70 (1) et, d'autre part, 20, 80 et 90 (3). Bien que ces trois dernières classes de taille soient similaires, la logique veut que nous séparions les groupes 80 et 90 (2) du groupe 20, ce dû au fait de leur différenciation biologique. Ces résultats vont donc engendrer trois groupes distincts : 20, 30-70 et 80-90, ce qui correspond à des tailles de 0,5 mm, 0,8-1,9 mm et 2,2-2,5 mm.

### **5.3 Répartition spatiale et migration au sein d'une même zone**

Durant les quatre cycles de 24 h, nous avons récolté le zooplancton, avec une rythmique de 4 h. Les données récoltées vont nous permettre d'analyser la répartition spatiale ainsi que les éventuelles migrations pour chacun de ces cycles. Dans ce chapitre, nous présentons ces données (annexes 3 - 4- 5 et 6). Nous les analyserons lors du dans le chapitre suivant.

#### **5.3.1 Cycle du 29-05-2001**

La figure 5.2. illustre l'abondance des différents stades de *Daphnia magna* ainsi que des chaoboridés (points roses) au sein de l'étang principal de Luchy. De gauche à droite, nous avons successivement les stades 0,5 mm ; 0,9-1,8 mm ; 2,2-2,5 mm. De bas en haut, les différentes heures de collectes. En ordonnée, le nombre d'individus présents dans les cinq prélèvements (100 l) et en abscisse, les différentes zones. Z.L.1 à 3 correspondent aux trois zones littorales alors que Z.P.1 (0m), Z.P.2 (2,5 m) et Z.P.3 (5 m), aux trois zones pélagiques.

##### **5.3.1.1 Classe de taille 0,5 mm**

#### **Migration:**

On peut remarquer, pour cette classe de taille, une répartition préférentielle dans les zones littorales, essentiellement en Z.L.2. Au sein de ces zones, on peut mettre en évidence un mouvement migratoire. En effet, à minuit, les individus se retrouvent en Z.L.2. A partir de 4h, il semblerait qu'ils quittent ces zones pour se retrouver, vers 8 h, dans la première et troisième zone littorale et y rester jusque 16 h. A ce moment, deux mouvements sont observables : l'un, horizontal, vers Z.L.3 et l'autre, cette fois vertical, vers la zone profonde où ils resteront jusque minuit. Il y a donc, dans ce cas, à la fois un déplacement horizontal au sein des zones à macrophytes et un mouvement vertical, plutôt nocturne, vers la tranche d'eau inférieure de l'étang.



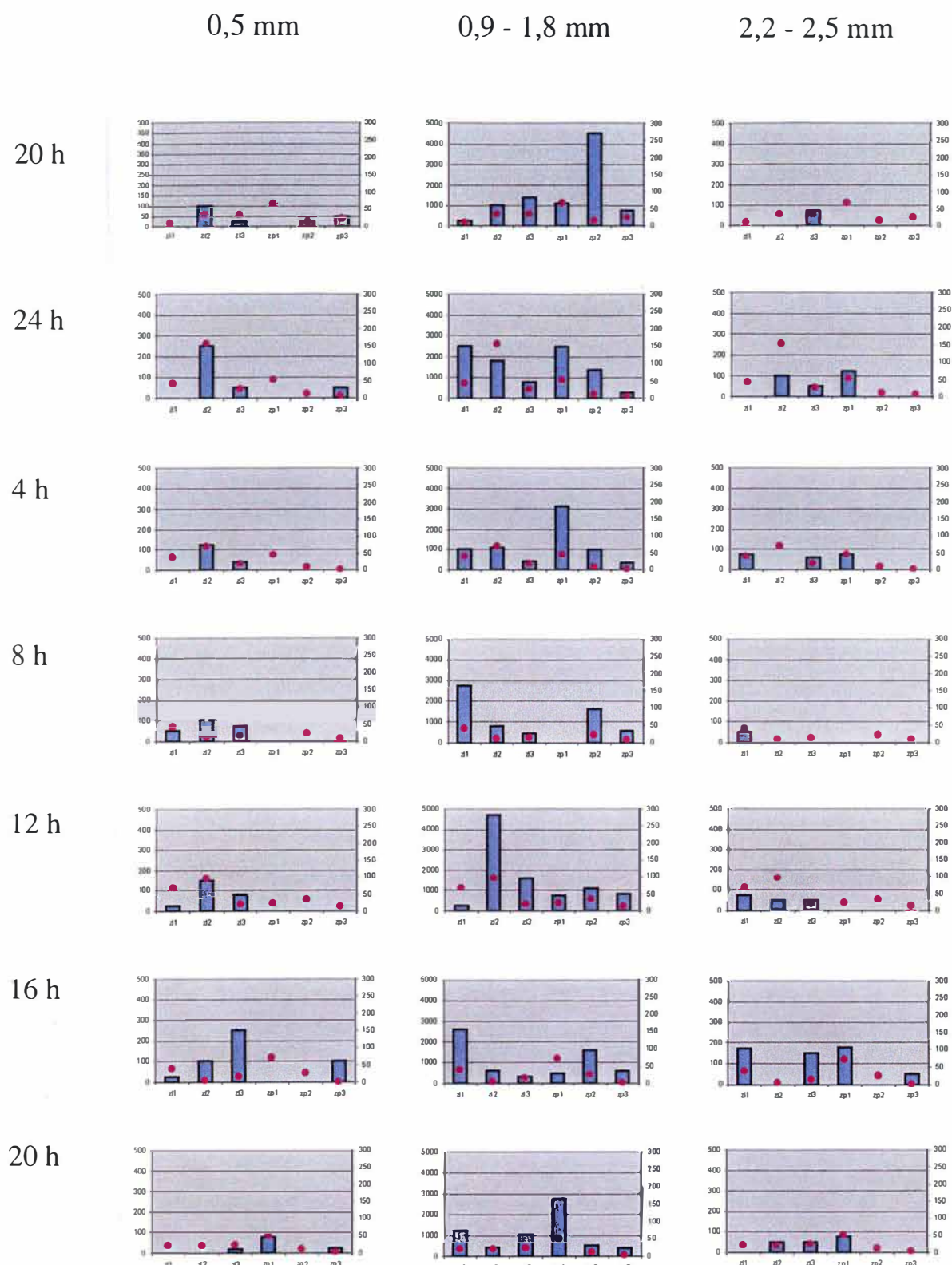


Figure 5.2.: Cycle du 29/05/2001 montrant la répartition des différents stades de daphnies (histogrammes bleus, ordonnée principale), ainsi que celle des chaoboridae (points rouges, ordonnée secondaire) dans les trois zones littorales ZL1, ZL2 et ZL3 et les trois pélagiques (ZP1 : 0 m ; ZP2 : 2,5 m ; ZP3 : 5 m). En abscisse, les zones et en ordonnée, les densités sont exprimées en ind./100 l. (Attention l' échelle des stades 0,9 -1,8 mm est différente)



### **Répartition spatiale au sein d'une même zone:**

#### **Zone littorale**

En ZL1 et ZL3, nous remarquons que, pour les cycles où l'intensité lumineuse est faible (le soir ou la nuit), les concentrations en individus de cette classe sont faibles et vont augmenter progressivement durant les heures d'ensoleillement. De cette manière, elles atteignent un nombre maximum à 8 h du matin pour ZL1 et 16h pour ZL3.

En ZL2, par contre, bien qu'une augmentation s'y produise vers midi, on remarque un deuxième pic, plus conséquent, à minuit.

#### **Zone pélagique**

En ZP1 et ZP2, le zooplancton est absent durant tout le cycle, sauf pour un pic à 20 h. Ce pic, dans les deux cas, n'est observé que pour un seul des prélèvements de 20 h.

En ZP3, nous remarquons un phénomène plus ou moins inverse à ZL1 et ZL2 : le zooplancton migre vers cette zone à partir de 16 h et y est présent jusque minuit alors qu'il est absent de 4 h du matin à 16 h.

### **5.3.1.2 Classe de taille 0,8-1,9 mm**

#### **Migration:**

Dans ce cas, on observe une symétrie à partir de la collecte de 12 h. Effectivement, les répartitions de daphnies pour les prélèvements de 8 h et 16 h ainsi que ceux de 4 h et 20 h sont similaires. A 16 h, ce stade se retrouve majoritairement en seconde zone littorale et bougent à partir de là pour se retrouver, pour la collecte suivante, plutôt en Z.L.1 et dans la tranche d'eau de profondeur intermédiaire. Ensuite, ils se retrouvent essentiellement en zone pélagique de surface et intermédiaire (20 h 1 et 2). Durant la nuit, les daphnies ont une tendance à retourner dans les zones de surfaces qu'elles soient littorales ou non. Elles vont ensuite successivement en Z.P.1 et en Z.L.1. Nous sommes donc ici en présence de mouvements horizontaux et verticaux.

### **Répartition spatiale au sein d'une même zone :**

#### **Zone littorale**

En ZL1, les individus s'y retrouvent alternativement en concentration maximale et minimale aux différentes heures du cycle.

En ZL2, nous pouvons remarquer 2 pics : le plus important à midi, alors que les concentrations de 8 h et de 16 h sont relativement faibles ; l'autre à minuit, est moins conséquent et plus progressif.

En ZL3, nous remarquons toujours un pic à midi et un deuxième, beaucoup moins conséquent, à 20 h.

#### **Zone pélagique**

Dans la zone supérieure de la tranche d'eau, les daphnies se retrouvent essentiellement aux heures de faible ensoleillement, avec un pic à 4 h du matin.

Dans les eaux intermédiaires (2,5 m), nous retrouvons les daphnies en concentration plus ou moins égale. Un pic est observé au premier prélèvement de 20 h mais ne se répète pas lors de la prise d'échantillon à la même heure, le lendemain.

Dans les eaux profondes (5 m), la tendance est inverse à ZP1, c'est à dire que nous avons une plus grande concentration de zooplancton pour les heures de plus grand ensoleillement (pic à 16 h). Il y a toutefois un pic à 20 h mais ce dernier n'est observé que pour un des deux échantillonnages.

### **5.3.1.3 Classe de taille 2,2-2,5 mm**

#### **Migration :**

Ces classes ne se retrouvent pas ou peu dans les zones profondes (2,5 et 5 mètres) de l'étang. On observe cependant une tendance à la migration horizontale. Il y a un mouvement des individus vers les zones pélagiques à partir de 16 h et durant toute la nuit. En zone littorale, on remarque une tendance des individus à se trouver en Z.L.1 durant le jour. Le soir et à minuit, c'est plutôt vers Z.L.2 et Z.L.3 que cette classe de taille migre.

### **Répartition spatiale au sein d'une même zone :**

#### **En zone littorale**

En ZL1, *D.magna* est présente durant la journée et absente durant la nuit, avec un pic à 16 h.

En ZL2 nous ne pouvons mettre en évidence de manière claire une migration.

En ZL3, on la retrouve à des concentrations relativement égales à toutes les heures du cycle, excepté à 16 h.

#### **En zone pélagique**

Absente des zones profondes, deux pics de concentrations sont visibles à 24 h et à 16 h en zone de surface. Dans les heures suivant ces maxima, leur présence diminue de manière faible pour être nulle aux autres moments du cycle.

### **5.3.2 Cycle du 16-06-2001**

La figure 5.3. illustre l'abondance des différents stades de *Daphnia magna* ainsi que des chaoboridés (points roses) au sein de l'étang principal de Luchy. De gauche à droite, nous avons successivement les stades 0,5 mm ; 0,9-1,8 mm ; 2,2-2,5 mm. De bas en haut, les différentes heures de collectes. En ordonnée, le nombre d'individus présents dans les cinq prélèvements (100 l) et en abscisse, les différentes zones. Z.L.1 à 3 correspondent aux trois zones littorales alors que Z.P.1 (0 m), Z.P.2 (2,5 m) et Z.P.3 (5 m), aux trois zones pélagiques.

#### **5.3.2.1 Classe de taille 0,5 mm**

### **Migration :**

On ne voit pas de migration à proprement parler. En effet, les individus se retrouvent de manière relativement homogène dans chaque zone pour les différentes heures. Il y a prédominance de cette classe en Z.L.2 et Z.P.1.

### **Répartition spatiale au sein d'une même zone :**

#### **En zone littorale**

En ZL1, les daphnies ne présentent pas de migration réelle..

En ZL2, on remarque deux pics, l'un à minuit et l'autre, un peu plus marqué, vers 12h. En dehors de ces deux pics, les concentrations sont relativement constantes et abordent les 50 à 100 individus pour 100 l.



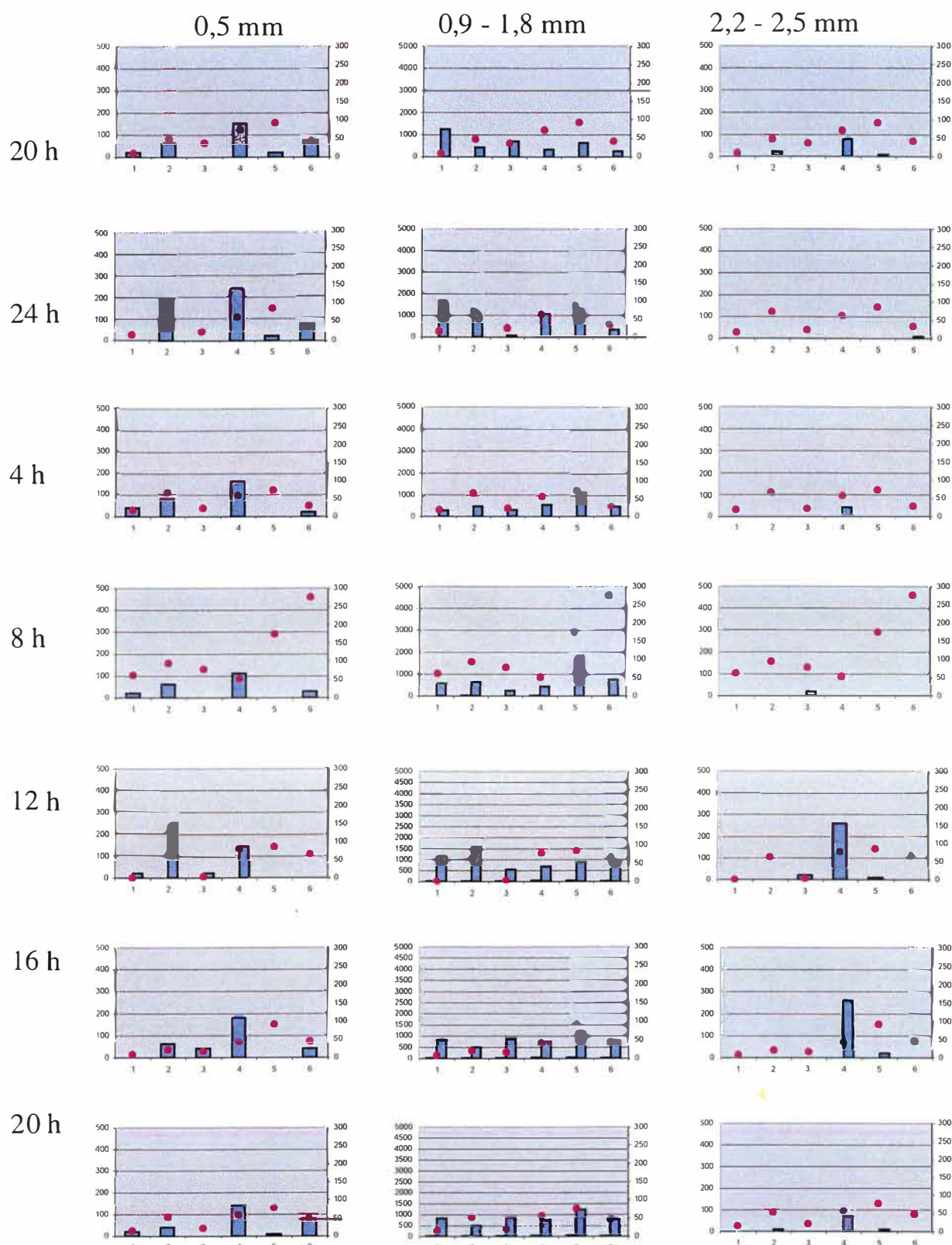


Figure 5.3.: Cycle du 16/06/2001 montrant la répartition des différents stades de daphnies (histogrammes bleus, ordonnée principale), ainsi que celle des chaoboridæ (points rouges, ordonnée secondaire) dans les trois zones littorales ZL1, ZL2 et ZL3 et les trois pélagiques (ZP1 : 0 m ; ZP2 : 2,5 m ; ZP3 : 5 m). En abscisse, les zones et en ordonnée, les densités sont exprimées en ind./100 l. (Attention l' échelle des stades 0,9 -1,8 mm est différente)

En ZL3, elles sont relativement absentes mais leur concentration, bien que faible, augmente pour atteindre un maximum de 50 individus pour 100 l à 16 h.

#### En zone pélagique

On les retrouve essentiellement dans la zone supérieure de la tranche d'eau. Avec un pic à 4 h (250 ind./100 l) et un autre à 16h (180 ind./ 100l).

En ZP2, la concentration est faible et augmente à 20 h et 24 h. En dehors de ces heures, elles sont absentes.

En ZP3, les daphnies sont présentes durant toute la durée du cycle excepté à midi. Elles sont prédominantes durant la nuit, avec un pic de concentration de 20 h à 24 h (70 à 80 ind./100 l)

### **5.3.2.2 Classe de taille 0,8-1,9 mm**

#### **Migration :**

Cette classe de taille se répartit dans tout l'étang à des concentrations relatives et possèdent des pics à des heures distinctes. On n'observe pas de phénomène clair et net outre le fait que de 20 h à 12 h, les individus se retrouvent dans la tranche d'eau de profondeur intermédiaire et qu'ensuite, la répartition est homogène dans les différentes zones de l'étang.

#### **Répartition spatiale au sein d'une même zone :**

##### En zone littorale

En ZL1, nous pouvons remarquer deux pics de concentration identiques, l'un, d'une part, à minuit et l'autre, d'autre part, à 20 h (plus de 1500 ind./100 l). Le nombre de daphnies est plus faible 4 h et vers 16 h.

En ZL2, on remarque deux augmentations : une à 8 h (>1000 ind./100 l) et une autre, plus importante, à midi (>1500 ind./100 l)

En ZL3, *D. magna* se retrouve essentiellement durant le jour. Sa concentration augmente vers 16 h pour atteindre un maximum visible aux deux prélèvements de 20 h (entre 600 et 1000 individus/100 l selon la collecte.).

##### En zone pélagique

En ZP1, sa concentration est relativement stable (+500 ind./100 l) et l'on peut remarquer un pic à minuit où son nombre double;

En ZP2, le nombre de daphnies est important, on remarque un pic le matin, à 8h (plus de 1500 ind./100 l) en dehors de celui-ci, le nombre de cladocère est relativement stable.



En ZP3, les daphnies sont beaucoup moins présentes. Le pic de concentration (70 ind./100 l) se situe à 12 h.

### **5.3.2.3 Classe de taille 2,2-2,5 mm**

#### **Migration :**

Les daphnies, dans ce cas, ne se situent que dans la zone pélagique de surface (ZP1) et seulement de 12 h à 20 h. On ne sait pas mettre en évidence le(s) lieu(x) où elles se retrouvent ensuite et donc un phénomène migratoire n'est pas observé.

#### **Répartition spatiale au sein d'une même zone :**

##### **En zone littorale**

*D. magna*, pour ce cycle, est absente de la première zone littorale.

On remarque un faible-pic (moins de 50 ind./100 l) au crépuscule dans la seconde zone littorale (20 h).

En troisième zone littorale, on peut répertorier deux pics faibles (moins de 50 ind./100 l) aux heures d'ensoleillement maximal (12 h et 16 h).

##### **En zone pélagique**

C'est dans la zone pélagique de surface que les daphnies sont le mieux représentées. Elles ont des pics de concentrations maximales (250 ind./100 l) durant la journée, aux heures où les rayons lumineux sont les plus intenses (12 h et 16 h).

Dans les zones de profondeur intermédiaire, on observe également un pic à 16 h. Ce dernier est toutefois beaucoup plus faible (moins de 50 ind./100 l) que ceux observés en zone de surface.

En zone profonde, pour ce cycle, les daphnies de cette classe de taille sont absentes.

### **5.3.3 Cycle du 23-06-2001**

La figure 5.4. illustre l'abondance des différents stades de *Daphnia magna* ainsi que des chaoboridés (points roses) au sein de l'étang principal de Luchy. De gauche à droite, nous avons successivement les stades 0,5 mm ; 0,9-1,8 mm ; 2,2-2,5 mm. De bas en haut, les différentes heures de collectes. En ordonnée, le nombre d'individus présents dans les cinq prélèvements (100 l) et en abscisse, les différentes zones. Z.L.1 à 3 correspondent aux trois zones littorales alors que Z.P.1 (0 m), Z.P.2 (2,5 m) et Z.P.3 (5 m), aux trois zones pélagiques.

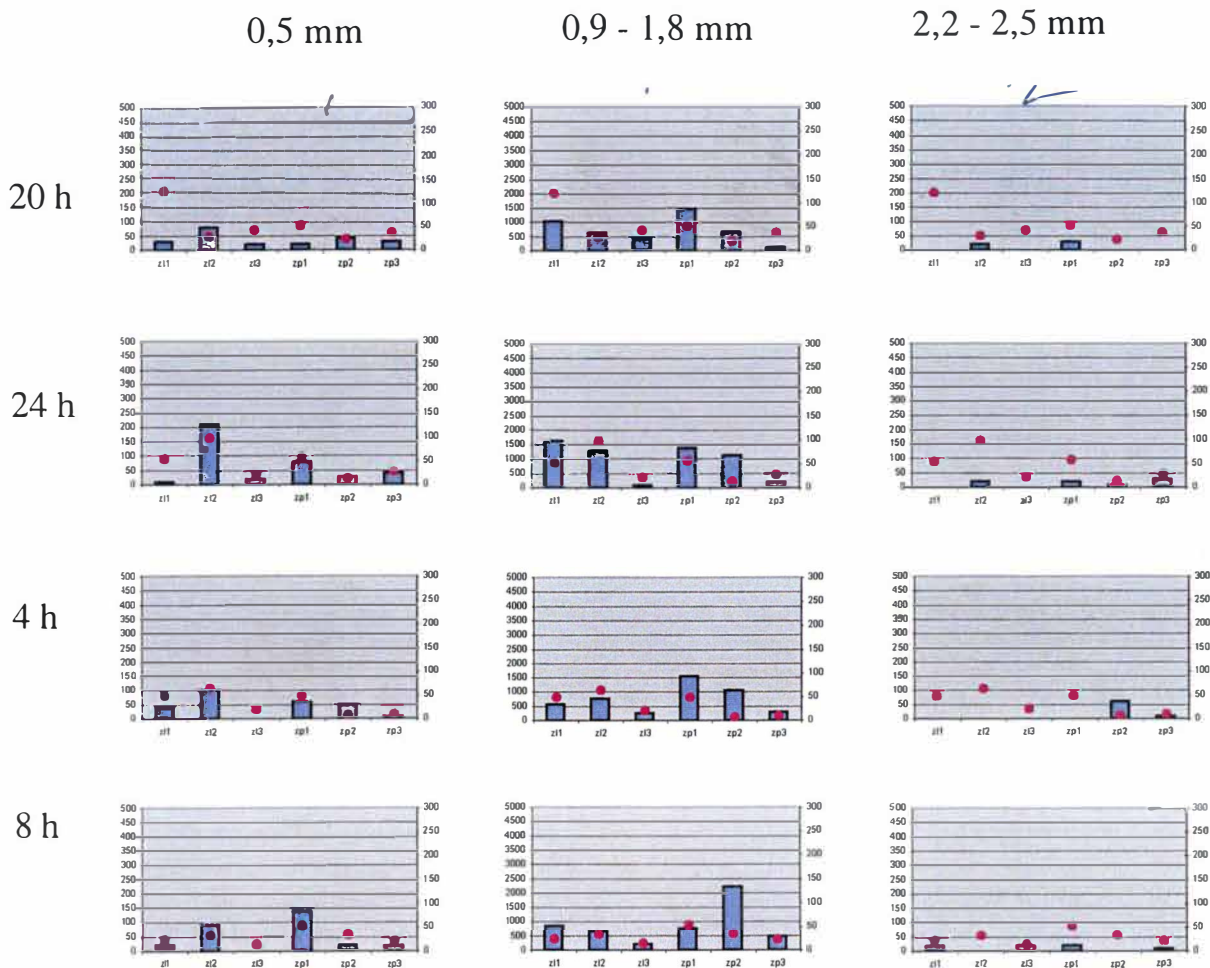


Figure 5.4.: Cycle du 23/06/2001 montrant la répartition des différents stades de daphnies (histogrammes bleus, ordonnée principale), ainsi que celle des chaoborides (points rouges, ordonnée secondaire), dans les trois zones littorales ZL1, ZL2 et ZL3 et les trois pélagiques (ZP1 : 0 m ; ZP2 : 2,5 m ; ZP3 : 5 m).  
En abscisse, les zones et en ordonnée, les densités sont exprimées en ind./100 l.  
(Attention l' échelle des stades 0,9 - 1,8 mm est différente)

Nous n'avons, suite à un problème technique, pas pu terminer ce cycle. Nous pouvons toutefois utiliser, dans une certaine mesure (uniquement la répartition spatiale dans les heures de collecte), les informations que ce dernier nous donne. La collecte de daphnies s'est déroulée de 20h à 8h le lendemain. De manière générale, au vu des différents graphiques d'abondance de *Daphnia magna*, on ne peut mettre en évidence un phénomène migratoire quelconque, les concentrations étant relativement constantes au sein de chaque zone.

#### **5.3.3.1 Classe de taille 0,5 mm**

##### **Répartition spatiale :**

Les daphnies se répartissent essentiellement dans la seconde zone pélagique et dans la zone de surface (2,5 m). Des concentrations plus faibles sont observables dans la première zone littorale et dans les zones de profondeurs intermédiaires et profondes. Elles sont peu représentées dans la troisième zone pélagique.

#### **5.3.3.2 Classe de taille 0,8-1,9 mm**

##### **Répartition spatiale :**

Outre ZL3 et ZP3, les daphnies se répartissent de façon claire et plus ou moins homogène dans les autres zones, avec, toutefois, une légère prédominance dans les zones pélagiques.

#### **5.3.3.3 Classe de taille 2,2-2,5 mm**

##### **Répartition spatiale :**

Cette classe de taille se retrouve en quantités très faibles dans toutes les parties de l'étang. Au vu des graphiques, il ne nous est pas possible d'établir de manière nette une répartition spatiale particulière.

### **5.3.4 Cycle du 03/07**

La figure 5.5. illustre l'abondance des différents stades de *Daphnia magna* ainsi que des chaoboridés (points roses) au sein de l'étang principal de Luchy. De gauche à droite, nous avons successivement les stades 0,5 mm ; 0,9-1,8 mm ; 2,2-2,5 mm. De bas en haut, les différentes heures de collectes. En ordonnée, le nombre d'individus présents dans les cinq prélèvements (100 l) et en abscisse, les différentes zones. Z.L.1 à 3 correspondent aux trois zones littorales alors que Z.P.1 (0 m), Z.P.2 (2,5 m) et Z.P.3 (5 m), aux trois zones pélagiques.

#### **5.3.4.1 Classe de taille 0,5 mm**

##### **Migration :**

Nous remarquons ici plutôt un type de migration verticale. En effet, les concentrations au sein des zones à macrophytes sont relativement homogènes durant toute la durée du cycle exception faite de Z.L.2 où l'on voit que les individus migrent à 12 h. Nous avons donc ici une migration horizontale de la zone pélagique vers cette zone. Toutefois, ce sont les variations verticales qui prédominent: le zooplancton se retrouve peu en surface et varie en Z.P.2 et Z.P.3. En effet, bien que majoritairement dans la tranche d'eau de profondeur intermédiaire, on observe un mouvement de masse vers la zone profonde à l'heure d'ensoleillement maximal (12 h).

##### **Répartition spatiale au sein d'une même zone :**

###### **En zone littorale**

En ZL1, nous pouvons mettre en évidence deux maxima de concentration, l'un à 20 h (80 ind./100 l) et l'autre, à 12 h (60 ind./100 l). Ces deux pics sont toutefois faibles étant donné que la densité moyenne de daphnies aux autres heures aborde les 50 individus/100 l.

En ZL2, nous voyons de manière évidente un point où le nombre de daphnies augmente de manière significative: il s'agit d'un pic de 200 individus/100 l à midi. Après celui-ci, on peut observer une chute lente du nombre de *D. magna* à 16 h et 20 h. Les densités sont relativement faibles durant la nuit et à l'aube (< 50 ind./100 l).



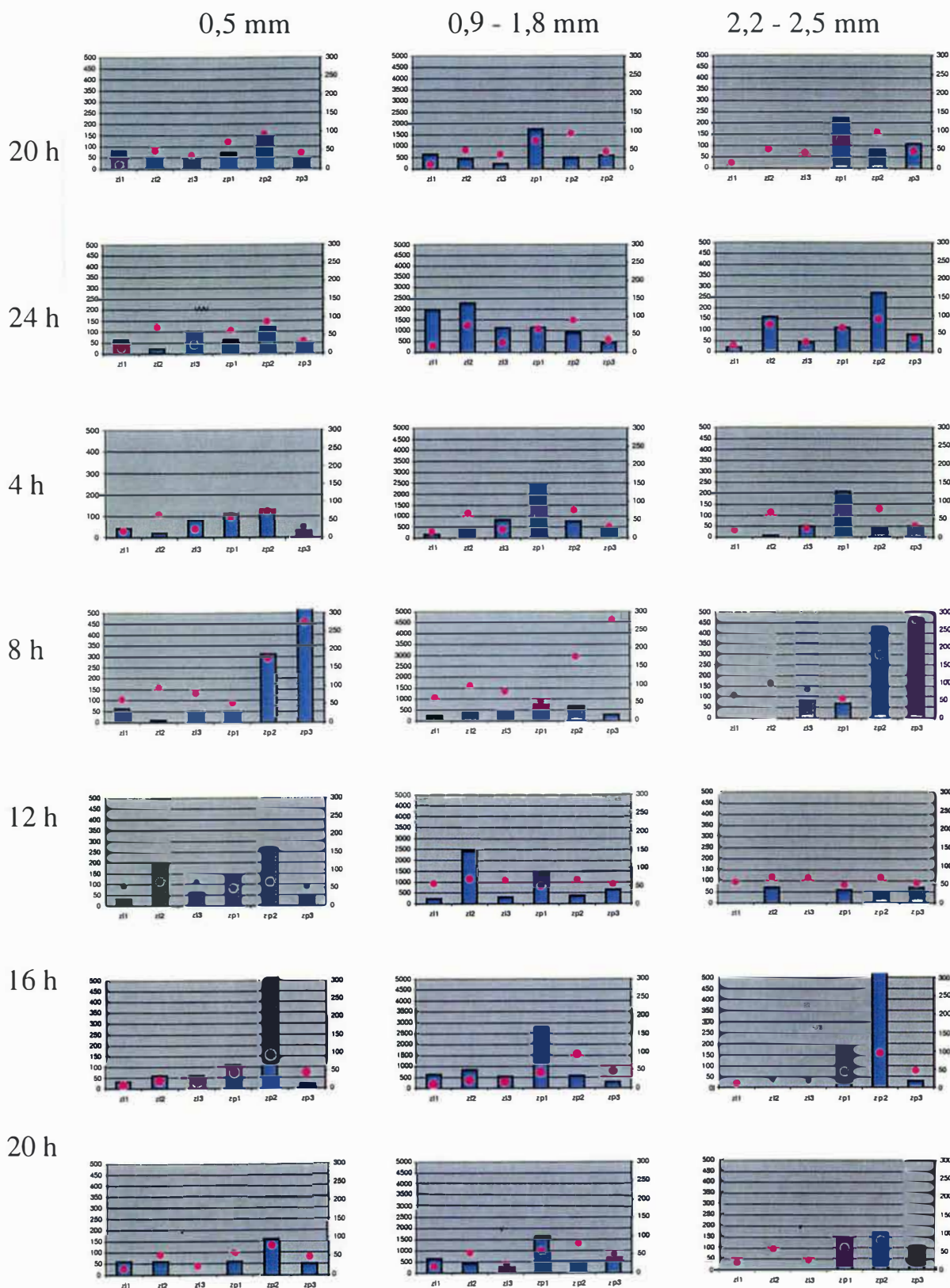


Figure 5.5.: Cycle du 3/07/2001 montrant la répartition des différents stades de daphnies (histogrammes bleus, ordonnée principale), ainsi que celle des chaoboridae (points rouges, ordonnée secondaire) dans les trois zones littorales ZL1, ZL2 et ZL3 et les trois pélagiques (ZP1 : 0 m ; ZP2 : 2,5 m ; ZP3 : 5 m). En abscisse, les zones et en ordonnée, les densités sont exprimées en ind./100 l. (Attention l' échelle des stades 0,9 -1,8 mm est différente)



En ZL3, nous remarquons le phénomène inverse de ZL2, c'est à dire que les daphnies ont une tendance à être présentes essentiellement durant la nuit. Les concentrations de jours sont, quant à elles, plus faibles.

#### En zone pélagique

Les daphnies se répartissent dans les zones de surface de manière relativement homogènes excepté un pic (140 ind./100 l) à 12 h.

C'est au niveau des profondeurs intermédiaires que l'on retrouve le plus grand nombre de daphnies. Ceci est d'autant plus vrai durant la journée avec un maximum (>500 ind./100 l) à 16 h.

Dans les couches profondes, la concentration est relativement égale pour toutes les tranches horaires, excepté à midi où le nombre de daphnies augmente de manière évidente pour atteindre un maximum à midi (> 500 ind./100 l)

#### 5.3.4.2 Classe de taille 0,8-1,9 mm

#### Migration :

Dans le cas présent, c'est surtout entre la zone pélagique de surface et la première zone littorale que nous pouvons voir des relations migratoires évidentes. En effet, quand une de ces zone abrite un nombre élevé de daphnie, l'autre n'en abrite pas ou peu et vice-versa. Toutefois, cette rythmique ne met pas en évidence une dynamique jour-nuit.

#### Répartition spatiale au sein d'une même zone :

##### En zone littorale

Dans toutes les zones littorales, nous remarquons un pic de concentration durant la nuit, à minuit et un nombre plus élevé de daphnies durant les périodes de faibles intensité lumineuse. Durant le jour, elles y sont quasiment absentes.

En ZL2 nous pouvons observer, de jour (12 h), un pic supplémentaire et plus conséquent que celui observé à minuit (près de 2500 individus/100 l pour un peu plus de 2000 à 24 h).

##### En zone pélagique

Dans la tranche d'eau supérieure, on peut remarquer deux pics. L'un à 4 h (2500 ind./100 l) et l'autre à 16 h (> 2500 ind./100 l)

Dans la tranche d'eau intermédiaire, les concentrations sont relativement égales (de l'ordre de 500 ind./100 l) avec toutefois un pic au milieu de la nuit (0h) où l'on retrouve un peu moins de 1000 daphnies/100 l.

#### **5.3.4.3 Classe de taille 2,2-2,5 mm**

##### **Migration :**

La communauté de *D. magna* est clairement beaucoup mieux représentée dans les zones pélagiques aux différentes heures du cycle. C'est dans les eaux intermédiaires que nous les retrouvons de manière plus évidente. Il y a migration vers la zone pélagique de surface durant la nuit et une autre, de type verticale, vers Z.L.3 à 12 h. Dans les zones littorales, on observe pas de phénomène clair outre le fait que pour 16 h et 20 h les individus quittent cette zone pour aller dans le milieu pélagique.

##### **Répartition spatiale au sein d'une même zone :**

###### **En zone littorale**

En ZL1, les daphnies sont pour ainsi dire absentes.

En ZL2, à l'exception de deux faibles pics à 24 h et 12 h. Les concentrations à ces heures restent toutefois assez faibles (150 et 50 ind./100 l)

En ZL3, les daphnies sont absentes durant le jour et leur nombre est d'environ 50 individus/100 l durant la nuit, atteignant presque les 100 individus/100 l au lever du jour (8 h).

###### **En zone pélagique**

En ZP1, on ne peut mettre en évidence de manière claire un mouvement migratoire. Toutefois, on remarque une certaine tendance à avoir un nombre plus conséquent d'individus durant les heures de faible ensoleillement.

En ZP2, Le nombre de daphnie est caractérisé par une alternance entre des maxima (24 h; 8 h; 16 h) et des minima (4 h; 12 h; 20 h). Ceci ne nous permet pas de tirer des conclusions claires. Toutefois, les pics les plus importants peuvent être observés durant le jour (> 400 ind./100 l alors que l'on ne retrouve "que" 270 ind./100 l à 24 h).

En ZP3, l'évolution est plus claire: on remarque un pic important à midi (> 400 ind./100 l) alors que les concentrations aux autres heures ne varient que très faiblement ( de 50 à 100 ind./100 l).

## **5.4 Répartition des Chaoboridés**

Les chaoboridés constituent le seul prédateur de *Daphnia magna* dans notre milieu. Ils ont donc été de la même manière que les daphnies (figures 5.2 à 5.5).

### **5.4.1 cycle du 29/05**

Les chaoboridés se répartissent essentiellement dans la zone littorale la plus en amont de l'étang (ZL2) et au niveau de la surface (ZP2). C est durant la nuit que leur concentration est la plus importante en ZL2 (pic à minuit). Ils se retrouvent de manière homogène en ZP1 mis à part à 8 h et à 16 h, où ils disparaissent pour effectuer une migration vers ZL2 (16 h). Nous n'avons pas vraiment, dans ce cas, de migration verticale typique des chaoboridés.

### **5.4.2 cycle du 16/06 -**

Pour ce cycle, leur répartition est totalement différente. En effet, dans ce cas, une migration verticale peut être clairement mise en évidence: dans la zone pélagique, les *chaoborus* se répartissent de manière uniforme excepté à l'aube (8 h) où l'on voit un mouvement important de cette espèce vers les zones intermédiaires et profondes de l'étang. Après ce pic, les trois zones pélagiques sont peuplées par une même densité d'individus et il semblerait que les chaoboridés migrent vers la seconde zone littorale.

### **5.4.3 cycle du 23/06**

Etant donné que ce cycle n'a pu être terminé, faute de problème technique, il paraît difficile de faire des constatations à ce niveau. Cependant, la tendance à s'aggréger est plus importante dans les zones de surface.

### **5.4.4 cycle du 03/07**

Les chaoboridés se répartissent essentiellement dans les zones pélagiques. C'est durant le jour que leur concentration est la plus importante (Z.P.2 et Z.P.3). On observe donc ici une migration claire des chaoboridés qui se dirigent vers les zones plus profondes de l'étang durant le jour et semblent la quitter aux autres moments du cycle.

## **5.5 Répartition des différentes classes d'algues**

(Figures 5.6 à 5.11)

### **5.5.1 zones littorales**

De manière générale, on observe dans les différentes zones littorales le même type de répartition pour toutes les classes d'algues. Les algues prédominantes sont:

1. Les diatomées : on les retrouve en plus grande concentration le 4 juillet. On remarque qu'elles y sont plus présentes durant la journée que durant la nuit avec des pics importants dans les zones littorale 2 et 3. En dehors de cette date, leur concentration est relativement stable.
2. Les chrysophycées : Elles se répartissent de manière hétérogène durant les quatre cycles, bien qu'on les retrouve principalement de nuit. En effet, en Z.L.1, elles sont plus abondantes le 29/05 et surtout le 3/07 où l'on peut voir un pic de plus de 10  $\mu\text{g/l}$  alors qu'en Z.L.2 on peut mettre en évidence une décroissance de leur densité pour atteindre un minimum ce même 4/07. En Z.L.3, par contre, le pic est visible pour le 4/06 durant le jour alors que de nuit, elles y sont absentes. Leur concentration nocturne est la plus importante le 16/06 et le 23/06.
3. Les cryptophycées n'apparaissent vraiment que lors des deux derniers cycles et dans les zones littorales 2 et 3. Elles sont toutefois plus abondantes durant le jour.



### 5.5.2 Zones Pélagiques

On retrouve en zone pélagique les mêmes dominances algales qu'en zones littorales. Cependant, les répartitions ne sont pas du même type.

1. Les diatomées se répartissent de manières différentes suivant la profondeur de la tranche d'eau dans laquelle elles se situent. On retrouve ainsi une légère augmentation en surface durant la nuit du 3/07. Mis à part ce pic, elles sont absentes de cette zone. C'est dans la tranche d'eau de profondeur intermédiaire (2,5 m) qu'elles sont les plus présentes. Leur concentration nocturne a une tendance à augmenter avec le temps pour être relativement stable lors des deux derniers cycles. On peut mettre en évidence un bloom de diatomées le 3/07 à midi. En ce qui concerne les plus grandes profondeurs, le phénomène est quasiment inversé. En effet, c'est durant la nuit que l'on observe ce même bloom le 3/07. On peut donc sans doute imaginer que ces algues varient en profondeur durant un cycle journalier. Un pic diurne est observable pour la date du 23/06.
2. Les chrysophycées sont les algues qui dominent durant les quatre cycles. Ceci a pu être confirmé par une analyse microscopique des différentes collectes. C'est dans les tranches d'eaux intermédiaires qu'elles sont les plus abondantes. De nuit, leur concentration croît pour atteindre un maximum le 23/06, et être quasiment absentes lors du dernier cycle. De jour, c'est le 16/06 qu'il y a un léger pic de concentration. Elles sont quasiment absentes du fond de l'étang excepté pour le 3/07. De manière générale, on remarque pour cette date une diminution claire et nette dans toutes les autres parties de l'étang pour cette même date.
3. Les cryptophycées : absentes des zones de surface, leur concentration augmente le 3/07 de manière significative. Elles se retrouvent de nuit essentiellement en profondeur alors que de jour, elles ont tendance à s'aggréger dans les zones intermédiaires de la tranche d'eau. Ce phénomène est aussi observé pour les diatomées.



figure 5.6: concentration ( $\mu\text{g/l}$ ) des différents types d'algues en Z.L.1; 24h et 12h

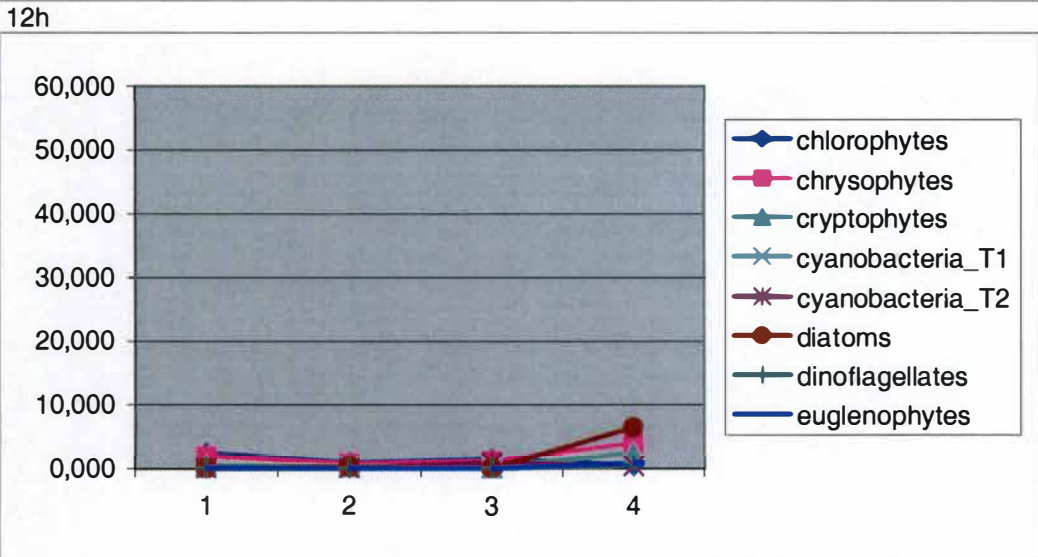
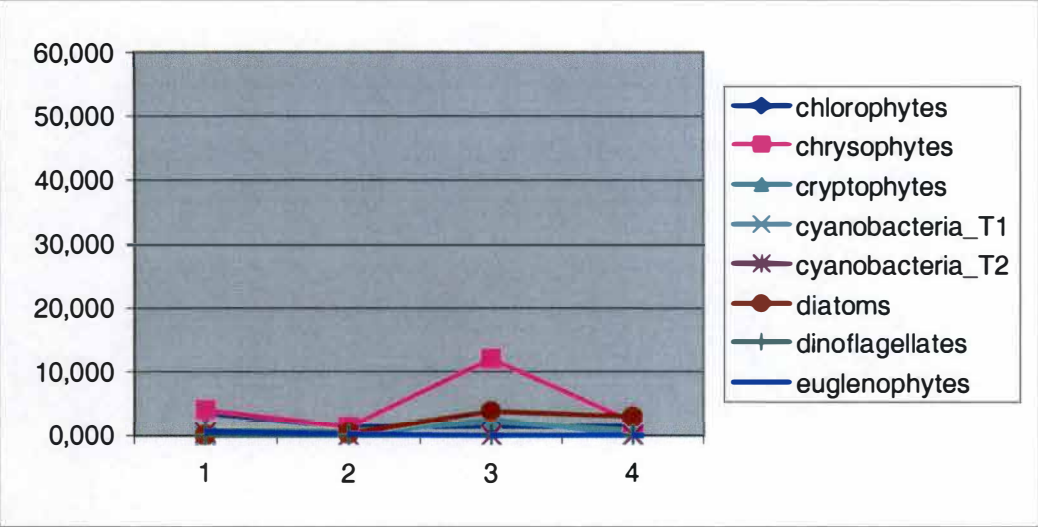
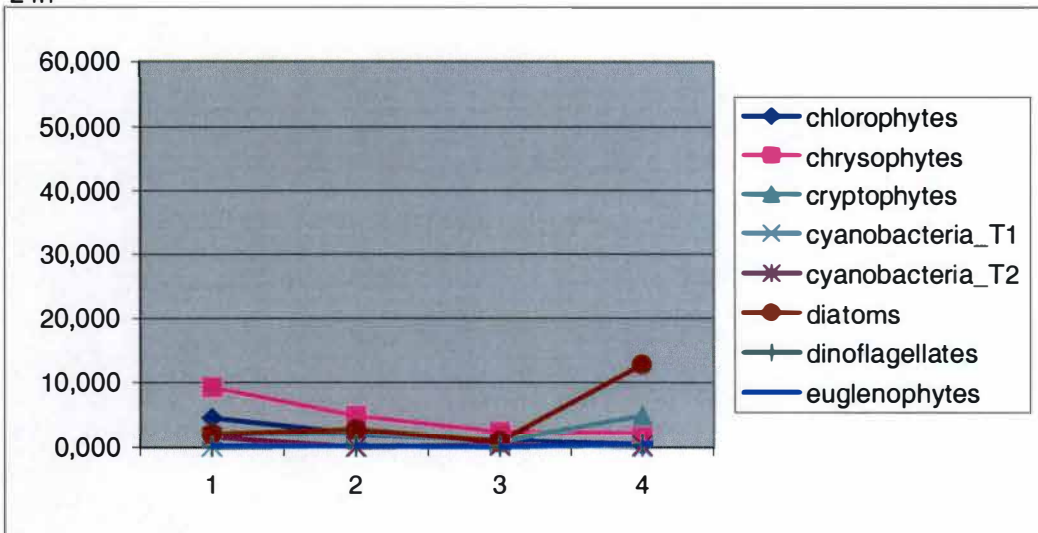


figure 5.6.: concentration ( $\mu\text{g chl a/l}$ ) des différents types d'algues en Z.L.1; 24h et 12h  
1: 29/05/2001; 2: 16/06/2001 3:23/06/2001 4: 3/07/2001

24h



12h

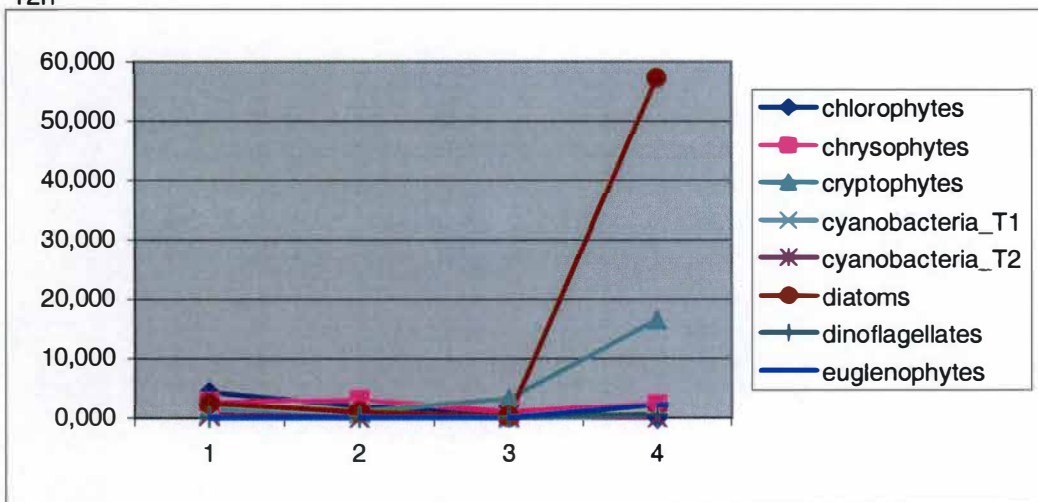
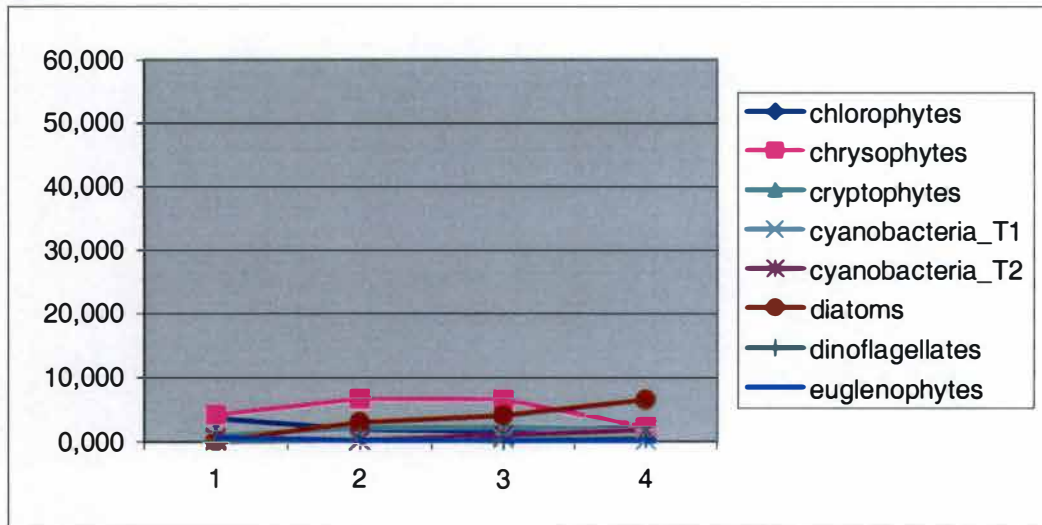


figure 5.7.: concentration ( $\mu\text{g chl a/l}$ ) des différents types d'algues en Z.L.2; 24h et 12h  
1: 29/05/2001; 2: 16/06/2001 3:23/06/2001 4: 3/07/2001

24h



12h

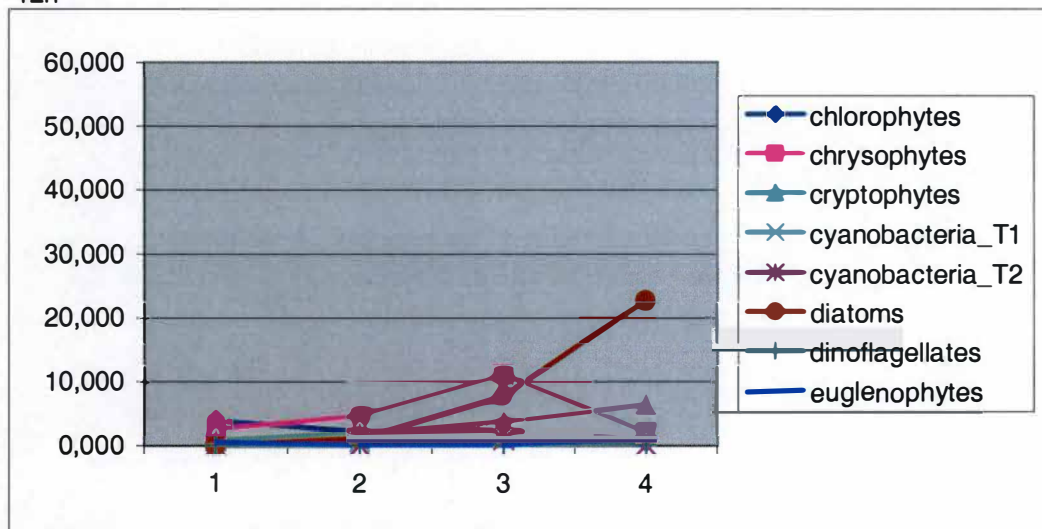
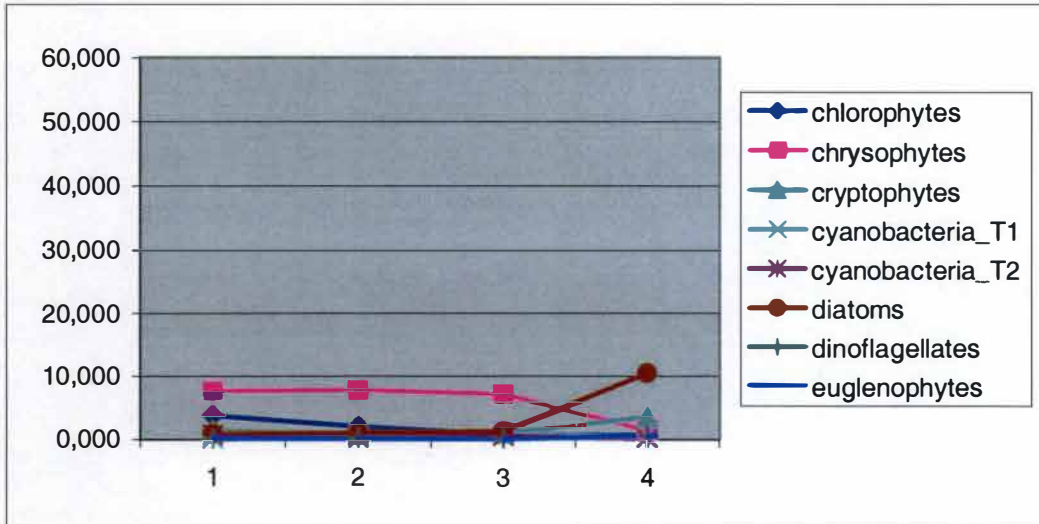


figure 5.8.: concentration ( $\mu\text{g chl } a/l$ ) des différents types d'algues en Z.L.3; 24h et 12h  
1: 29/05/2001; 2: 16/06/2001 3: 23/06/2001 4: 3/07/2001

24h



12h

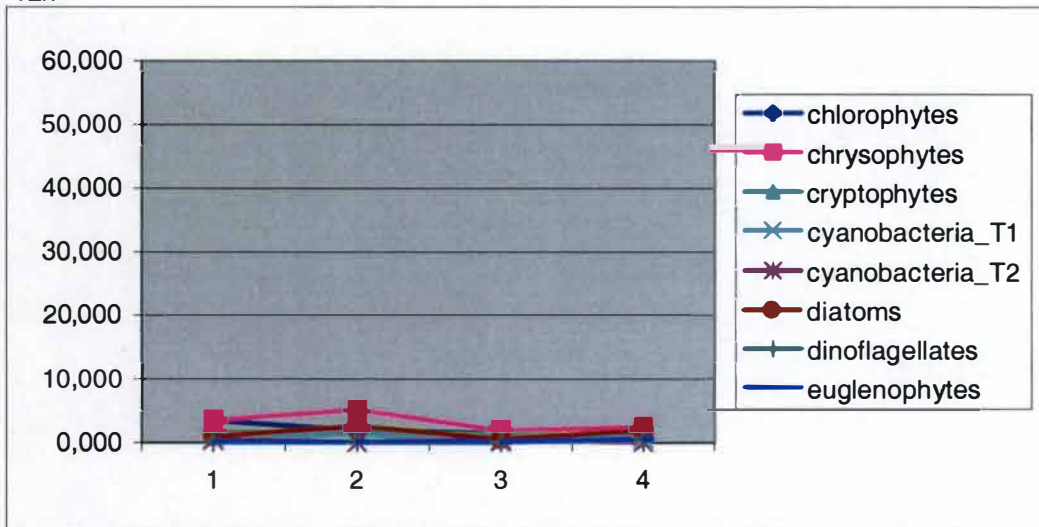
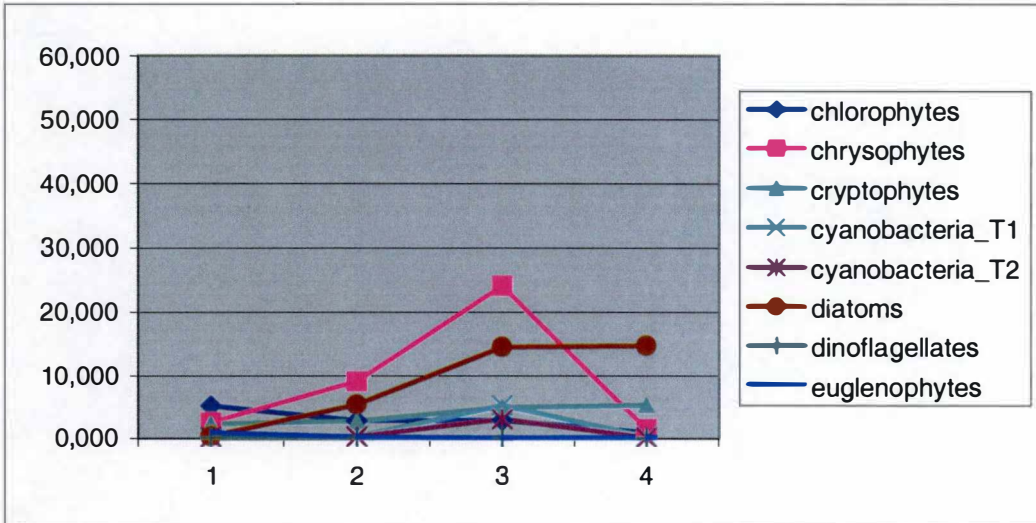


figure 5.9.: concentration ( $\mu\text{g chl a/l}$ ) des différents types d'algues en Z.P.1; 24h et 12h  
1: 29/05/2001; 2: 16/06/2001 3: 23/06/2001 4: 3/07/2001



24h



12h

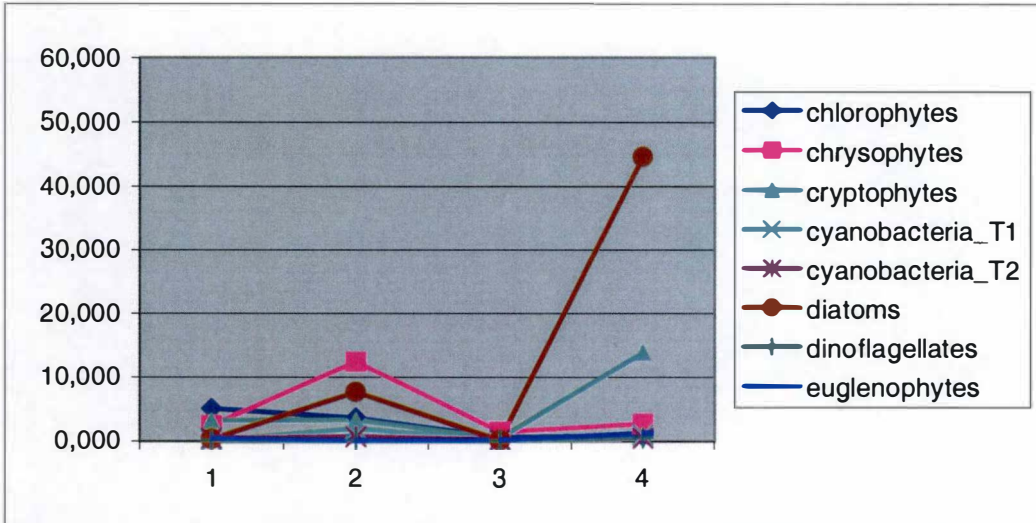
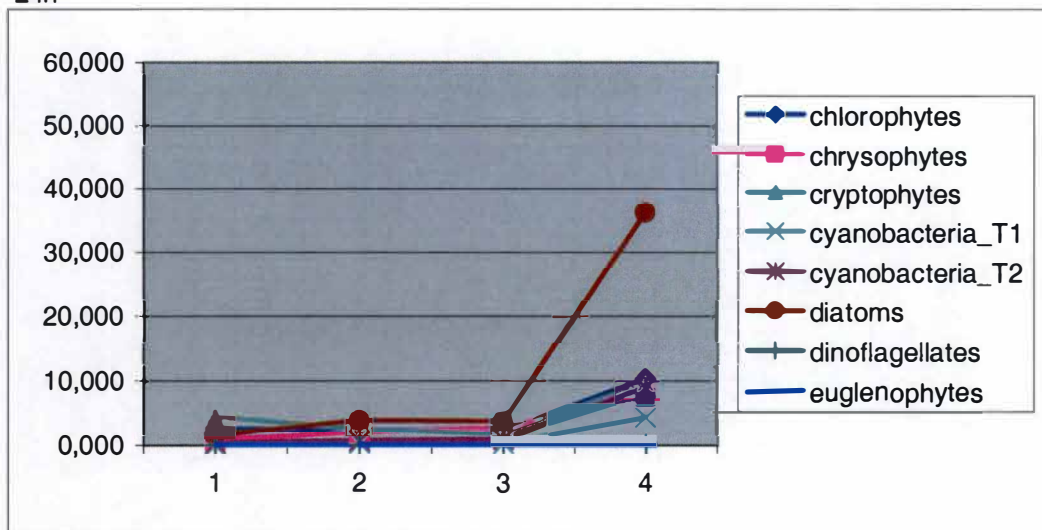


figure 5.10.: concentration (µg chl a/l) des différents types d'algues enZ.P.2; 24h et 12h  
1: 29/05/2001; 2: 16/06/2001 3:23/06/2001 4: 3/07/2001

24h



12h

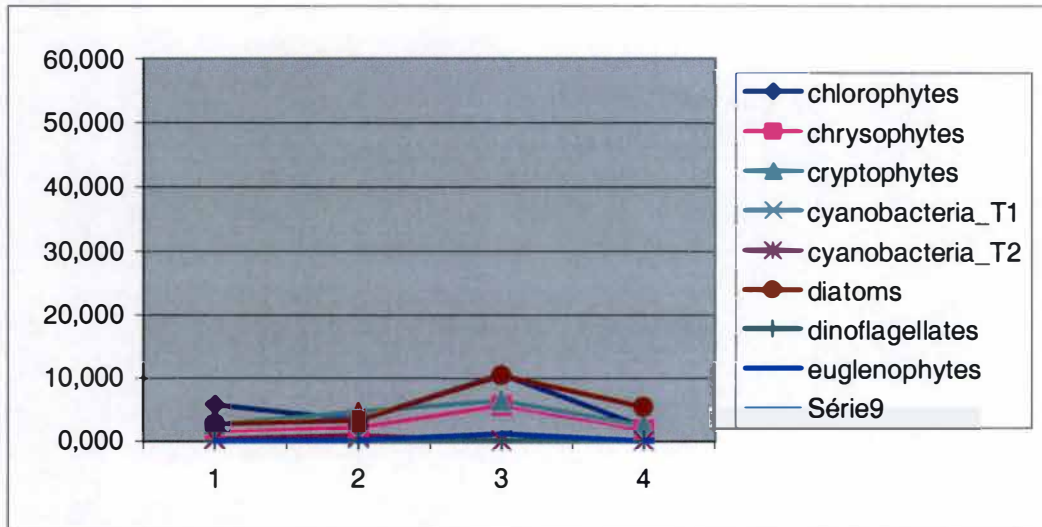


figure 5.11: concentration ( $\mu\text{g chl } a/l$ ) des différents types d'algues enZ.P.3; 24h et 12h  
1: 29/05/2001; 2: 16/06/2001 3: 23/06/2001 4: 3/07/2001

## **VI: ANALYSE ET DISCUSSION**

## CHAPITRE 6: ANALYSE ET DISCUSSION

### 6.1 Analyse des données récoltées

Le but de ce travail étant d'étudier la distribution de *Daphnia magna* dans un milieu vierge de prédateurs vertébrés, et de dégager les différents facteurs pouvant influencer celle-ci, nous avons effectué deux analyses en composantes principales (A.C.P): l'une pour essayer de dégager l'effet potentiel des chaoboridés, seuls prédateurs et de la teneur en oxygène dans le milieu et l'autre, celle des différentes classes d'algues, sur la dynamique des trois classes de taille étudiées. Les valeurs propres ainsi obtenues ont été comparées avec les valeurs seuils données par le modèle du bâton brisé d'après Frontier (1976 in Legendre et Legendre 1998). Ce modèle considère les variances comme étant reprises dans un bâton de longueur unitaire. Si l'A.C.P avait divisé la variance au hasard entre les axes principaux, la fraction de la variance expliquée par les différents axes serait à peu près la même que la longueur relative des morceaux obtenus en cassant ce bâton au hasard en autant de morceaux qu'il y a d'axes.

A partir de ce raisonnement, un tableau avec le pourcentage de variances associées aux valeurs propres successives sous le modèle du bâton brisé a été réalisé (annexe X). Ce modèle reste valable jusqu'à 20 valeurs propres. Dans notre analyse, et pour les deux cas, nous n'obtenons pas de résultats concluants. En effet, dans le premier cas, le premier axe n'est même pas accepté par le modèle et, dans le second, les 5 premiers axes sont à prendre en considération dans l'analyse des données. Ces deux cas n'étant pas acceptables, il paraît évident que nous allons devoir nous cantonner aux résultats présentés sous forme descriptive dans l'analyse des différentes données obtenues. Dès lors, chaque paramètre sera repris séparément en essayant de bien mettre en évidence leur effet sur la dynamique migratoire de *Daphnia magna*, pour autant que cette dernière soit observée.



En effet, pour les dates du 16/06 et du 23/06 (figures 5.3 et 5.4, annexes 3 et 6), aucun mouvement significatif n'a pu être clairement observé, quelle que soit la classe de taille étudiée. Ceci peut être dû à plusieurs raisons :

1. La densité en chaoboridés reste peu variante durant tout le cycle pour chaque zone. On observe bien un pic de chaoboridés en Z.P.1 à minuit le 16/06. Il est d'ailleurs intéressant de remarquer que ce pic coïncide avec celui des tailles intermédiaires de daphnies. Suite à ce phénomène, nous remarquons que, pour la tranche horaire suivante, les deux concentrations diminuent fortement. De telle manière, nous pouvons imaginer que la population de chaoboridés a eu un impact ponctuel sur celle des daphnies. Outre ce phénomène isolé, les répartitions sont, pour les deux cycles, proche de l'homogénéité.
2. Les conditions météorologiques précédant ces prélèvements étaient assez mauvaises. Le mois de juin étant très perturbé dans son ensemble, on peut supposer que ces changements de conditions physiques du milieu liés d'une part à l'abaissement de la température - de 16 °C à 18 °C pour ces dates contre 21°C à 26°C pour les deux autres cycles- et, d'autre part à une diminution de luminosité -même si ceci n'est pas observable durant les journées de collecte étant donné que celles-ci se déroulaient lors de journées de fort ensoleillement- peuvent avoir eu un effet considérable sur toute la communauté planctonique. Ceci étant valable même si le temps de renouvellement de cette communauté est assez court.
3. Les différents pics de densité de *Daphnia magna* peuvent être le résultat d'une nage de groupe (hétérogénéité spatiale) se répercutant dans l'ensemble de la collecte pour une heure et une zone bien précise du cycle. Cependant, ceci peut être aussi le cas pour les deux cycles où nous avons observé des migrations et nous avons essayé de contrer cette hétérogénéité en combinant les 5 prélèvements effectués dans chaque zone.

Lors des collectes du 23/05 et du 4/07, nous avons observé des mouvements de masse de la population de *Daphnia magna*. Il paraît donc intéressant de s'y attarder afin de pouvoir dégager les différents facteurs pouvant avoir une répercussion sur le comportement migratoire. Ces facteurs seront divisés en deux parties : d'une part, les paramètres biologiques -les *Chaoborus* (prédateur principal de *Daphnia magna*) et le phytoplancton (proie de celle-

ci)- et, d'autre part, sur les paramètres abiotiques présentant une certaine variabilité au cours d'un cycle nyctéméral –la teneur en oxygène et l'intensité lumineuse-.

### **6.1.1 Les facteurs abiotiques influençant la répartition de *Daphnia magna***

Les facteurs abiotiques peuvent jouer un rôle essentiel dans la migration des daphnies. En effet, nous avons pu constater que, quand ceux-ci étaient instables, aucune migration n'était observée. Dès lors, il paraît logique de s'y attarder afin de mieux comprendre leur impact. Pour ce faire, nous allons prendre en compte les facteurs ayant une grande variabilité au sein d'un même cycle. Il s'agit ici d'une part de la teneur en oxygène et, d'autre part, de l'intensité lumineuse relative dans la tranche d'eau.

#### **6.1.1.1 L'oxygène dissous (D.O.)**

De manière générale, le milieu est très bien oxygéné (annexe 8) avec une saturation en oxygène de plus de 100% en surface dans toutes les zones de surface, excepté en Z.L.1 le 3/07 à minuit (88 %) et aux deux prélèvements de 20 h ( 77.8 % et 92.4 %). On observe une stratification de cette D.O. dans un gradient vertical. En effet, la concentration en oxygène diminue de moitié pour avoisiner les 50 % à 2.5 m et, dans la tranche inférieure du plan d'eau, être inférieure à 19.4 % le 29/05 et inférieure à 21.4 % le 3/07. Outre ce gradient vertical, on remarque une évolution durant les différents moments de la journée. En effet, les concentrations sont généralement plus fortes durant la période diurne. Ceci est bien évidemment à mettre en relation avec l'activité photosynthétique des végétaux. Nous allons, lors de cette analyse, nous baser sur le gradient vertical plutôt que sur l'horizontal étant donné que les différentes zones de surface sont toutes à saturation et que donc, l'oxygène ne peut être considéré comme facteur directeur dans la répartition de nos daphnies. Nous réaliserons cette comparaison à partir de la concentration en mg/l étant donné que c'est celle-ci est plus significative en tant que facteur stressant pour la daphnie. En effet, le pourcentage de saturation est fonction de la température et nous pouvons donc avoir les mêmes valeurs de saturation alors que les concentrations ne sont pas identiques.

Cycle du 29/05 : La figure 6.1 nous montre le gradient vertical en oxygène dans les zones pélagiques de l'étang. Deux constatations peuvent être clairement faites à partir de ce graphique. D'une part, on remarque de manière évidente que, à 24 h, nous avons un déficit

clair en oxygène dans le milieu. Celui-ci est d'autant plus marqué que nous sommes dans les zones intermédiaires et profondes. D'autre part, les concentrations les plus fortes sont en surface à 16 h.

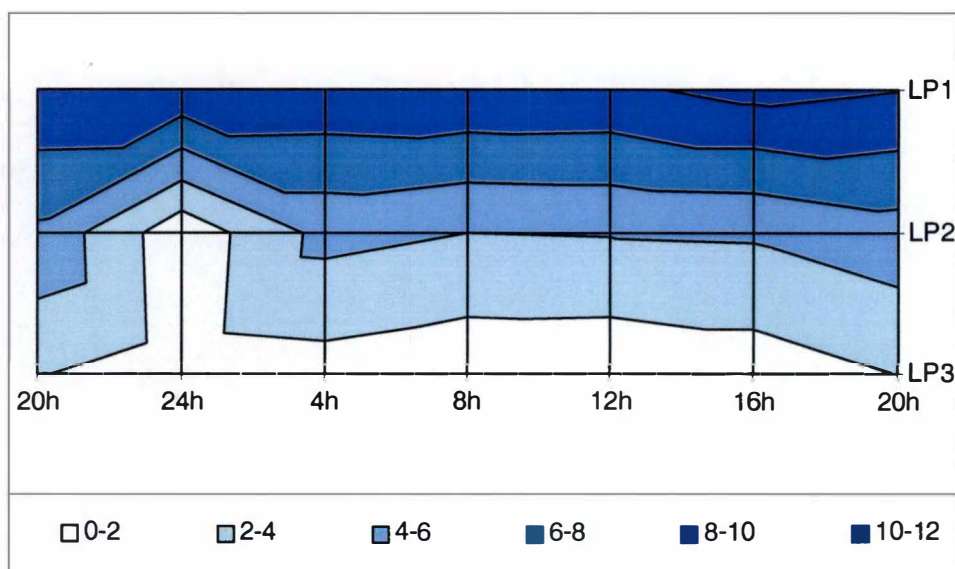


Figure 6.1 : concentrations en oxygène (mg/l) dans les différentes tranches d'eau de l'étang de Luchy pour la date du 29 mai 2001. Cette figure se lit de bas en haut, en commençant en bas avec les concentrations les plus faibles pour remonter vers les plus élevées.

Comparons ces deux points particuliers avec la répartition de nos daphnies. En ce qui concerne les stades 0.5 mm et 2.2-2.5 mm, les phénomènes observés sont clairs. Les daphnies ne se retrouvent pas ou de manière peu significative dans les zones de profondeur intermédiaires et profondes de l'étang. Le déficit en oxygène semble donc avoir un effet sur la répartition de ces cladocères. Toutefois, une exception est à prendre en compte : ces deux stades se retrouvent en zone profonde à 16 h alors que la concentration en oxygène est tout aussi faible en ces points que durant les autres moments du cycle (excepté 24 h). Il paraît donc évident qu'il y a, en ce point, un facteur motivant la migration de *Daphnia magna* vers ces zones. Celui-ci est peut être l'absence de *Chaoborus* à cet endroit ou la prédominance d'un type algal. On remarque aussi que la forte concentration en oxygène est liée de manière étroite avec l'abondance de ces tailles de daphnies, un pic étant observé à cette heure pour les deux stades (.5 mm : 240 ind./100 l et 2.2-2.5 mm : 180 ind./100 l). En ce qui concerne les tailles intermédiaires, leur abondance est moins marquée en Z.P.3, là où l'oxygène est déficitaire. En



Z.P.2, par contre, ce lien ne peut être mis en évidence. Il semble donc que le seuil en deçà duquel la raréfaction de l’oxygène est préjudiciable pour les daphnies ne soit pas atteint.

Cycle du 3/07 : La figure 6.2 nous montre, tout comme la figure 6.1, une stratification de la concentration en oxygène (mg/l) dans l’étang. Toutefois, la forte diminution observée à minuit lors du cycle du 29/05 n’est plus observable dans ce cas. Par contre, la concentration maximale se situe toujours en Z.P.1 à 16h.

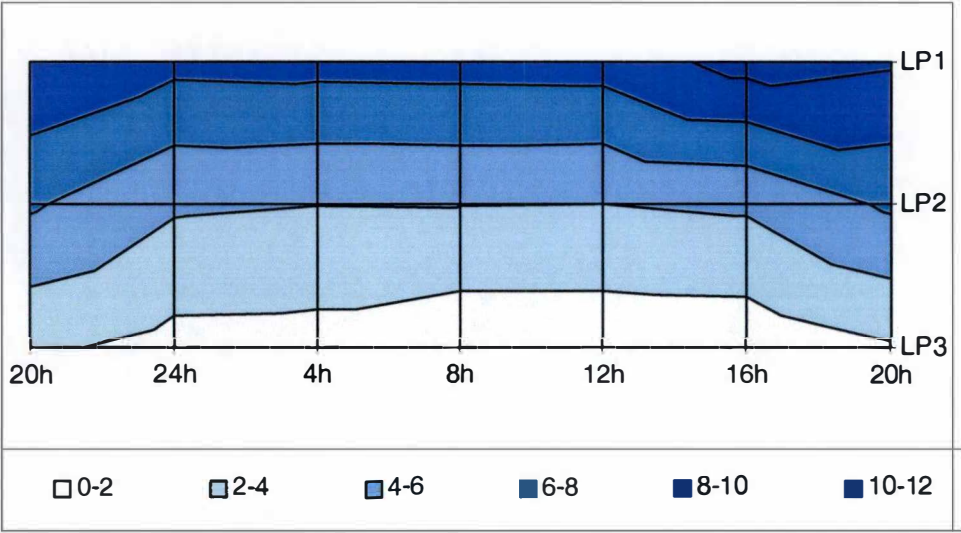


Figure 6.2 : concentrations en oxygène (mg/l) dans les différentes tranches d’eau de l’étang de Luchy pour la date du 4 juillet 2001.

Cette figure se lit de bas en haut, tout comme la figure 6.1

Lorsque l’on compare ces données avec la répartition des daphnies, on remarque que le phénomène est beaucoup moins clair que pour le 29/05. En effet, mis à part les classes de tailles 0.9-1.8 mm qui semblent ne pas se retrouver préférentiellement dans les zones pélagiques et profondes, on peut voir que les pics pour les autres individus se situent dans ces zones. Dès lors, une question peut être soulevée : quel est le facteur motivant ces daphnies à se retrouver à cet endroit durant le cycle. La réponse semble être claire. Si l’on regarde les concentrations algales dans ces zones (figures 5.10 et 5.11), on remarque que l’on observe des pics clairs et net de concentrations. Dès lors, on peut aisément imaginer que les daphnies font fi de la concentration en oxygène à des fins nutritionnelles.



De manière globale, on peut voir, selon les résultats obtenus, que la concentration en oxygène affecte, à partir d'un certain seuil, la répartition des daphnies. Toutefois, il semble que ce phénomène soit supplanté par des phénomènes biologiques. En effet, dans le cas de fortes concentration alimentaires, les daphnies se dirigent quand même vers les zones où le phytoplancton est abondant.

#### **6.1.1.2 L'intensité lumineuse**

L'intensité lumineuse relative (annexe 9) dans la tranche d'eau évolue bien évidemment dans un cycle jour-nuit. Nous avons porté sur graphique les résultats obtenus afin d'établir clairement l'évolution de ce paramètre au cours du temps. Il en ressort que les intensités lumineuses décroissent de manière logique au fur et à mesure que l'on descend dans la tranche d'eau et que celle-ci est invariante ou presque dans les zones littorales et pélagique de surface. Nous allons donc essentiellement nous attarder sur le gradient vertical et sur les points qui se différencient du schéma classique. Nous travaillerons ici sur la période diurne étant donné que, la nuit, nous n'observerons pas de différences réelles entre les différentes zones. Nous risquons d'ailleurs d'avoir un effet combiné avec la concentration en oxygène étant donné que cette dernière varie aussi en fonction de la profondeur.

Cycle du 29/05 : La figure 6.3 nous montre la répartition de la lumière dans toutes les zones de l'étang. On remarque que l'intensité lumineuse augmente à quatre heures du matin dans les zones de profondeurs intermédiaires et profondes. Cette augmentation ne semble pas affecter la population de daphnies étant donné que l'on ne peut remarquer aucun pic de densité à cette heure. Lors de ce cycle, on remarque que les mêmes observations faites pour l'effet de la concentration en oxygène, c'est à dire que les stades extrêmes ne se retrouvent pas dans ces tranches d'eau durant toute la durée du cycle, même de jour. De jour, les individus de stades intermédiaires semblent se répartir avec un effet non significatif de la lumière. En effet, nous les retrouvons à des densités fortes aussi bien en zones éclairées qu'en zones de faible intensité lumineuse.

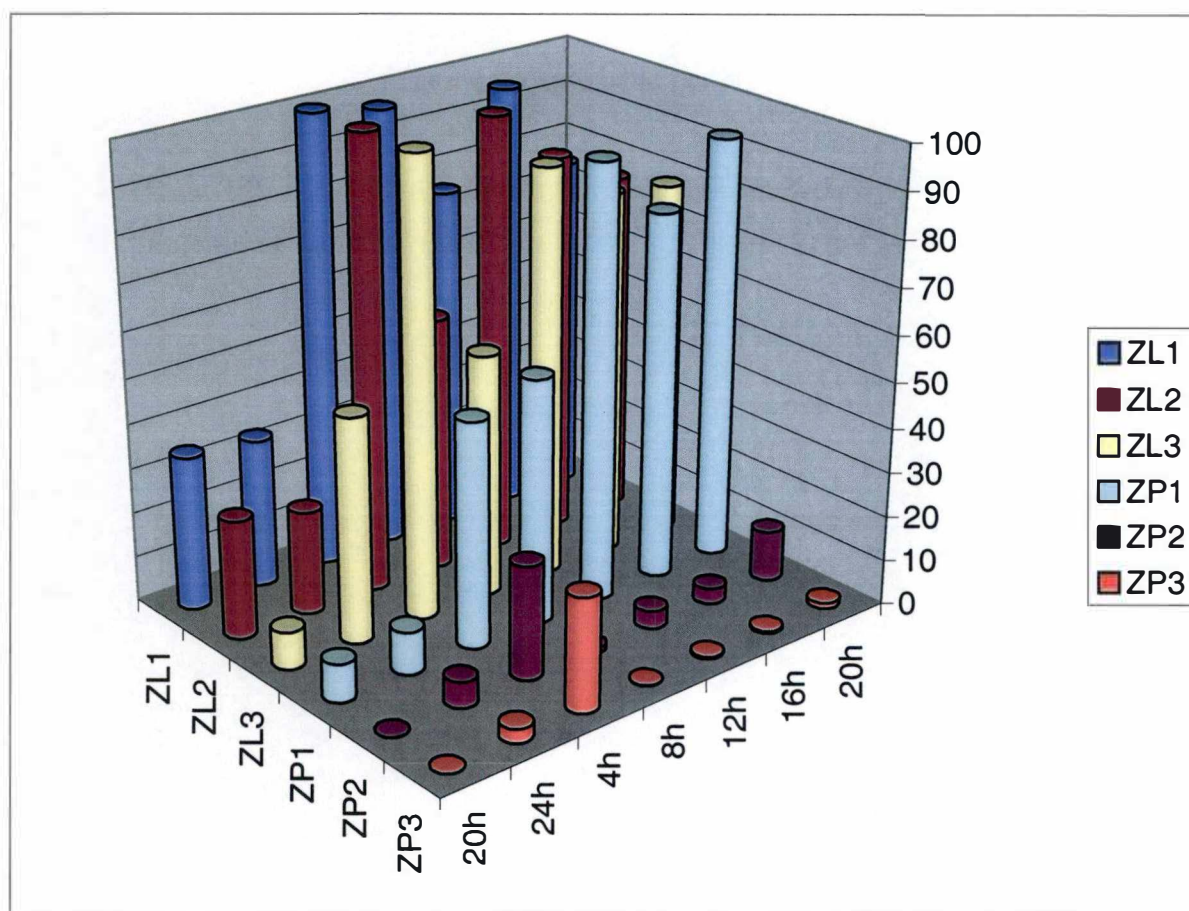


Figure 6.3 : intensités lumineuses relatives (%) au sein de l'étang de Luchy pour les différentes zones lors de la collecte du 23/05/2001

cycle du 03/06 : la figure 6.4 montre une évolution logique de l'intensité lumineuse relative dans un cycle nyctéméral. Nous ne remarquons pas ici de point particulier. Les daphnies de stades extrêmes (0.5 mm et 2.2-2.5 mm) ne semblent pas tenir compte de l'abaissement de la lumière dans les zones intermédiaires et profondes de l'étang étant donné que c'est à ce niveau que l'on retrouve les pics de concentration diurnes. Il semble donc que ce ne soit pas, tout comme l'oxygène, un facteur prédominant pour ces stades. En ce qui concerne les stades intermédiaires, les pics de concentrations ne se situent pas dans ces zones. La lumière pourrait donc jouer un rôle dans leur répartition.

L'évolution de l'intensité lumineuse se comporte comme celle de la concentration d'oxygène. Dès lors, on peut penser que ces deux effets sont combinés étant donné que nous observons les mêmes patterns dans les deux cas. Toutefois, il semble que les facteurs déterminant réellement la migration des daphnies soient plutôt d'ordre biologique.

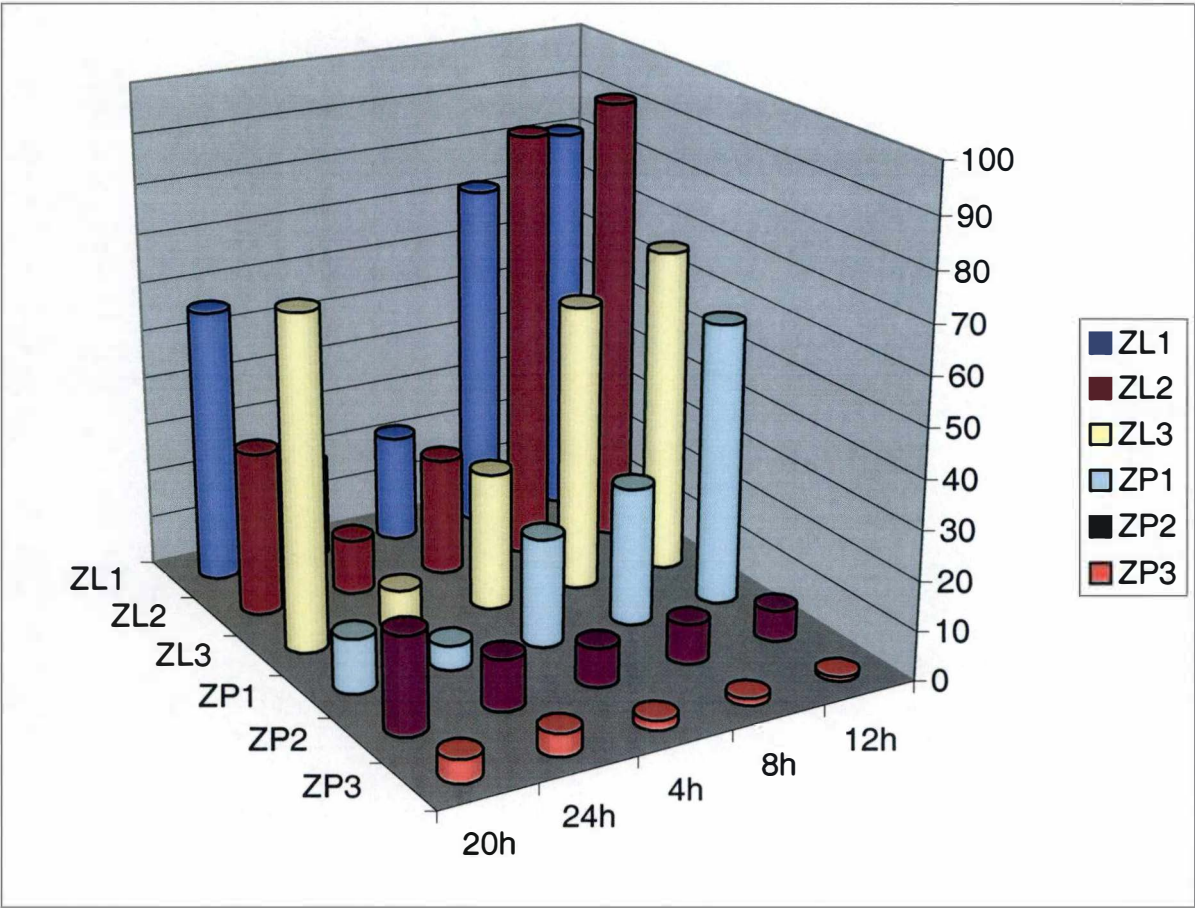


Figure 6.4 : intensités lumineuses relatives (%) au sein de l'étang de Luchy pour les différentes zones lors de la collecte du 3/07/2001



### 6.1.2 Paramètres biologiques influençant la dynamique migratoire de *Daphnia magna*

Ces paramètres peuvent être considérés comme prédominants dans notre étude, insérant la daphnie dans le réseau trophique. Il paraît donc logique que cette dernière adaptera son comportement en évitant son principal prédateur (les chaoboridés) et en se situant préférentiellement dans les zones où elle retrouve un meilleur potentiel nutritionnel. C'est donc ce type de comportement que nous allons essayer de mettre en évidence dans les données observées.

#### 6.1.2.1 Les chaoboridés

Le 29/05 (figure 5.2.), les chaoboridés se situent essentiellement en Z.L.2 et en Z.P.1. On peut d'ailleurs remarquer que leur densité est tout à fait comparable avec celle des individus de stade 0.5 mm en Z.L.2. En effet, à minuit, on remarque un pic de densité pour les deux communautés (250 individus/100 l dans les deux cas). Suite à ce maximum, l'abondance de daphnies baisse (120 ind./100 l), ceci étant peut-être dû au fait que ces dernières aient été décimées par la communauté de *Chaoborus*. D'ailleurs, la dynamique se répète. En effet, on constate que la diminution de daphnies s'accompagne de la dispersion des chaoboridés dans les heures suivantes (8 h) et que cette même densité réaugmente (170 ind./100 l) lorsque les daphnies réintègrent cette tranche d'eau. Nous avons donc ici deux raisonnements à tenir: le premier nous laissant penser que les *Chaoborus* ont un impact sur ce stade de développement de la daphnie. Le second résiderait plutôt dans le fait que ces deux types d'individus se retrouvent dans les mêmes zones au même moment car ils ont les mêmes affinités écologiques. En ce qui concerne les stades 0.8-1.9 mm, une symétrie est visible à partir du prélèvement de 12 h. Effectivement, on peut voir une grande similarité entre, d'une part, les collectes de 8 h et de 16 h et, d'autre part, celles de 4 h et de 20 h. A 20 h, la tendance de ces stades est alors de se situer en seconde zone littorale (plus de 4500 ind./100 l). Il y a ensuite un mouvement vers la première zone littorale et vers la zone de profondeur intermédiaire pour soit migrer vers les zones pélagiques de surface, soit vers la tranche d'eau de profondeur intermédiaire (16 h). Durant la nuit, les daphnies ont une tendance à retourner vers les zones de surfaces, qu'elles soient littorales ou pélagiques pour terminer le cycle en Z.P.1 et Z.L.1. Nous avons donc ici un pattern migratoire qui, bien que décalé dans le temps semble assez



clair. Il convient donc de le comparer à celui des chaoboridés afin de voir si un lien peut être fait entre les deux dynamiques. On voit de manière assez directe que ce lien n'est pas évident, les chaoboridés se retrouvant par exemple essentiellement en Z.L.2 (plus de 2500 ind./100 l) à minuit alors que les daphnies sont surtout présentes en Z.L.1 (2500 ind./100 l) et Z.P.1 (2500/100 l ind.) à cette heure. Une question peut cependant être posée: s'ils ne se retrouvent pas dans les mêmes zones au même moment ce serait peut être du au fait que les daphnies fuient constamment les *Chaoborus* afin de ne pas se retrouver dans la même zone qu'eux. Ceci semble assez scabreux. En effet l'implication serait que, lors du cycle, un décalage entre les densités de daphnies et celles des chaoboridés pourrait être observé de telle manière à retrouver ces derniers dans la ou les zone(s) où les daphnies étaient les plus abondantes la période précédente, bien que l'on puisse également penser qu'un tel phénomène aurait pu être observé si les écarts entre les différentes collectes avaient été plus courts. Les classes de taille 2.2-2.5 mm ne se retrouvent essentiellement qu'en surface de l'étang. Le même phénomène est observé pour les *Chaoborus*. Toutefois, c'est le seul lien que l'on puisse faire entre les deux, les pics ne se correspondant pas du tout et un décalage dans le temps n'étant pas observable.

Lors du cycle du 3/07 (figure 5.5) et pour le stade 0.5 mm les densités au sein des zones à macrophytes sont relativement homogènes exception faite de la collecte de midi où l'on voit une tendance à l'agrégation en Z.L.2 (2500 ind./100 l). Cette tendance n'est pas remarquée chez les chaoboridés (>1500 ind./100 l). Mis à part cette répartition dans les zones littorales, les daphnies se retrouvent peu en surface de la zone pélagique et oscillent entre les profondeurs intermédiaires et la partie inférieure de l'étang. C'est dans la zone intermédiaire que l'on retrouve essentiellement *Daphnia magna* avec un mouvement de masse vers les zones profondes à l'aube (8 h ; > 500 ind./100 l). Lorsque l'on compare ce pattern migratoire à celui des *Chaoborus*, on remarque certaines évidences: les densités en Z.P.2 sont les mêmes pour les deux types d'individus de 20 h à 4 h du matin. Vers 8 h du matin, un pic de daphnies est clairement observable en Z.P.2 et Z.P.3. De manière peu surprenante, un pic de chaoboridés est aussi observable à cette heure et dans ces mêmes zones. Lors de la collecte suivante, les deux concentrations diminuent fortement aux mêmes points. On peut donc penser que les daphnies ont fui cette zone du fait de la forte densité de *Chaoborus* et que ces derniers ont quitté également cette zone du fait de l'absence de daphnies. A 16 h, les daphnies retournent dans les tranches d'eaux intermédiaires (> 500 ind./100 l) comme si l'absence de *Chaoborus* était un facteur motivant le retour dans cette zone, qui semble être leur zone

préférentielle durant toute la durée de ce cycle. Pour les stades 0.8-1.9 mm, c'est surtout entre la zone pélagique de surface et la première zone littorale que nous pouvons mettre en évidence un phénomène migratoire, des pics étant observables en alternance dans ces deux zones. Le rapport avec les chaoboridés est encore, pour ces stades, peu évident. En effet, lorsqu'on observe des pics de densité en *Chaoborus* (12 h et 16 h en Z.P.2 et Z.P.3), les daphnies sont absentes de cette tranche d'eau et lorsqu'on peut mettre en évidence un pic de *Daphnia magna*, ce sont cette fois les *Chaoborus* qui sont en concentration moyenne à faible. Un lien ne peut donc être fait entre ces deux compartiments au vu des résultats obtenus. En ce qui concerne les classes 2.2-2.5 mm, on remarque certaines similitudes entre le comportement des chaoboridés et celui des daphniidés. En effet, les deux communautés sont essentiellement réparties dans les zones pélagiques. Les pics de densité de ces deux communautés coïncident à 8 h en Z.P.2 et Z.P.3. Suite à ce pic, les densités en daphnies diminuent très fortement, comme si elles avaient été littéralement décimées par les *Chaoborus*. Ces derniers, quant à eux, restent fort présents dans ces zones pour ne seulement diminuer en densité qu'à 16 h alors que la densité en daphnies réaugmente en Z.P.2. Ces constatations peuvent traduire deux choses opposées: soit on voit un décalage dans le temps des *Chaoborus* par rapport aux daphnies, soit le lien n'est pas aussi évident qu'il n'y paraît. Cette seconde hypothèse paraît toutefois plus justifiée vu le fait que, d'une part le comportement de ces stades est proche de celui des daphnies de 0.5 mm pour lesquelles des liens avec les chaoboridés sont évidents lors des deux cycles et, d'autre part, un décalage si net entre les deux communautés paraît peu probable compte tenu du fait que la vitesse des déplacements des *Chaoborus* n'est pas inférieure à celle des daphnies et que ces derniers sont connus pour être des chasseurs à « l'affût ». Dès lors, de telles différences de densités entre les deux types d'individus n'auraient pu être observées. Ce serait plutôt une diminution des *Chaoborus*, peut être légère, mais qui aurait dû être visible. Or c'est ici une très faible augmentation qui est observée.

En résumé, il semble que la communauté de chaoboridés affecte plus précisément le stade 0.5 mm de *Daphnia magna*. Pour les autres stades, de tels liens ne peuvent être clairement observés au vu des résultats obtenus même si pour le cycle du 3/07 une corrélation entre les *Chaoborus* et les stades 2.2-2.5 mm est observable. Celle-ci paraît toutefois résulter de la similarité que présentent ces stades avec le stade 0.5 mm étant donné que l'on ne voit pas cela dans le premier cycle, quand les dynamiques de ces deux communautés sont totalement différentes.

### 6.1.2.2 Le phytoplancton

Les prélèvements de phytoplancton (figures 5.6 à 5.11, annexe 7) ont été effectués pour chaque zone à minuit et à midi. Nous avons donc ici une répartition phytoplanctonique basée sur la dynamique jour-nuit. Cette dynamique sera comparée à celle de *Daphnia magna*, espèce susceptible de se nourrir de tous les types phytoplanctoniques, y compris les diatomées dont ils cassent préalablement la frustule. Lors de ce développement, il paraît évident que nous allons essentiellement nous baser sur les densités algales les plus fortes. Il s'agit dans ce cas des diatomées, des chrysophycées et des cryptophycées. D'autres algues peuvent être insérées dans ce canevas de manière ponctuelle.

Durant le cycle du 23/06, à minuit, les chrysophycées se répartissent essentiellement en Z.L.2 où l'on retrouve le maximum de densité (10  $\mu\text{g chl } a/l$ ), en Z.P.1 (8  $\mu\text{g chl } a/l$ ) et en Z.L.1 (4  $\mu\text{g chl } a/l$ ); Outre ces trois pics, ces algues sont quasiment absentes du milieu dans les autres zones. A midi, la densité est relativement faible (de 1 à 3  $\mu\text{g chl } a/l$ ) dans toutes les zones de l'étang. Outre ces dernières, les chlorophycées se répartissent de manière égales (3  $\mu\text{g chl } a/l$ ) dans toutes les zones, à l'exception de la zone profonde où l'on remarque une dynamique jour-nuit : à minuit, elles se retrouvent à la plus grande densité observée (6  $\mu\text{g chl } a/l$ ) alors qu'à midi, elles sont relativement absentes (1  $\mu\text{g chl } a/l$ ). Les diatomées sont pour ainsi dire absentes de ce milieu pour cette date alors que les cryptophycées se retrouvent en trois points : leurs densités sont plus élevées en Z.L.2 que ce soit à minuit (1.5  $\mu\text{g chl } a/l$ ) ou à midi (2  $\mu\text{g chl } a/l$ ) et en Z.P.3 à minuit (3  $\mu\text{g chl } a/l$ ). Lorsque l'on compare ces répartitions algales avec les différents stades de daphnies, on peut remarquer les phénomènes suivants :

- Les individus de stade 0,5 mm se répartissent essentiellement en Z.L.2 ( 250 ind/100 l) à minuit et en Z.L.2 (150 ind/100 l) et Z.L. 3 (80 ind/100 l) à midi. Si l'on compare cela aux densités des différents types algaux, on remarque que, pour ces heures, la densité en chrysophycées et en cryptophycées est au maximum dans cette zone à minuit. A midi, par contre, les chrysophycées sont peu présentes alors que les cryptophycées sont toujours très bien représentées. On peut logiquement penser que les daphnies du stade 0.5 mm se retrouvaient en Z.L.2 à minuit vu l'abondance de ces deux types algaux. A midi, la relation est moins évidente. En effet, les daphnies se répartissent en Z.L.2 et en Z.L.3. Bien que les chrysophycées soient plus présentes en Z.L.2, elles sont en Z.L.3 à une très faible concentration. Dès lors, on peut penser



qu'une fraction des daphnies reste en Z.L.2, la concentration algale étant suffisante et qu'une autre fraction migre pour aller en Z.L.3, mais ce phénomène n'est pas explicable au vu du graphique et est sans doute dû à un autre facteur que la densité phytoplanctonique. Cet effet vient d'ailleurs probablement de la prédation par les chaoboridés.

- Pour les stades 0.8-1.9 mm, on remarque un véritable pattern migratoire, les individus se répartissant différemment (comme vu en 6.1.1.1) dans les différentes zones aux différentes heures de la journée. A minuit, ils se retrouvent de façon assez diversifiée dans toutes les parties de l'étang : plus de 2000 individus/100 l en Z.L.1 et Z.P.1, plus de 1500 individus/100 l en Z.L.2 et plus de 1000 individus/100 l en Z.P.2. A minuit, la tendance à l'agrégation est plus forte en Z.L.2 que dans les autres zones de l'étang. Les chrysophycées se répartissent essentiellement à minuit dans les mêmes zones que ces stades de daphnies, excepté en Z.P.2. Les cryptophycées, quant à elles sont plus présentes en Z.L.2. De manière claire, les algues et le zooplancton se répartissent de la même manière que le zooplancton. On peut donc imaginer qu'il existe un lien étroit entre les deux communautés. A midi, les daphnies se répartissent, tout comme le stade 0.5 mm, en Z.L.2, heure et lieu pour lesquels les cryptophycées sont les plus présentes dans le milieu (2  $\mu\text{g chl } a/l$ ).
- Les stades 2.2-2.5 mm se répartissent, à minuit, uniquement en Z.L.2 (100 ind./100 l), en Z.L.3 (50 ind./100 l) et en Z.P.1 (> 100 ind./100 l). Dans le premier et le dernier cas, ils se situent dans les tranches d'eau où les algues prédominent. Cependant, en Z.L.3, on ne retrouve aucune dominance algale particulière pour cette heure. Le phénomène n'est donc sans doute pas explicable au vu du graphique. A midi, elles ne se retrouvent pas dans des zones à algues. De manière générale, leur comportement ne semble pas être guidé de manière particulière par une classe d'algue déterminée.

Lors du cycle du 3/07 (figures 5.6 à 5.11, annexe 7), ce sont les diatomées qui sont prédominantes avec les pics les plus importants. En zones littorales, elles sont plus présentes durant la journée que durant la nuit avec des pics importants en Z.L.2 (près de 60  $\mu\text{g chl } a/l$ ) et en Z.L.3 (22  $\mu\text{g chl } a/l$ ) à midi. En zones pélagiques, les diatomées se répartissent de manière différente selon la profondeur à laquelle elles se situent. On retrouve ainsi une légère augmentation de leur densité en surface durant la nuit (10  $\mu\text{g chl } a/l$ ). C'est en Z.P.2 qu'elles sont les plus présentes durant le jour avec une densité de 45



$\mu\text{g chl } a/l$  contre  $15\mu\text{g chl } a/l$  durant la nuit. En Z.P.3, on remarque le phénomène inverse : de nuit, leur densité est de plus de  $35 \mu\text{g chl } a/l$  alors que de jour leur densité est assez faible ( $5 \mu\text{g chl } a/l$ ). Les chrysophycées, quant à elles, ne sont présentes qu'à minuit en Z.P.3 ( $8 \mu\text{g chl } a/l$ ). C'est d'ailleurs dans cette zone et pour cette heure que la diversité algale est la plus grande : les chlorophycées ( $10 \mu\text{g chl } a/l$ ), les cyanobactéries T1 ( $3 \mu\text{g chl } a/l$ ) et les cyanobactéries T2 ( $9 \mu\text{g chl } a/l$ ) étant au maximum de leur densité alors que, pour les autres zones et pour toutes les heures, elles sont en densités faibles dans tout le milieu. Les cryptophytes, quant à elles, sont plus abondantes de jour en Z.L.2 ( $15 \mu\text{g chl } a/l$ ) et Z.L.3 ( $5 \mu\text{g chl } a/l$ ) que de nuit ( $5 \mu\text{g chl } a/l$  en Z.L.2 et  $< 1 \mu\text{g chl } a/l$  en Z.L.1). En zones pélagiques, elles se retrouvent à minuit essentiellement en profondeur ( $9 \mu\text{g chl } a/l$ ) alors que de jour, elles ont tendance à s'agréger dans les zones intermédiaires de la tranche d'eau ( $13 \mu\text{g chl } a/l$ ). On remarque donc, pour ce cycle que l'on retrouve de fortes différences de densité de jour et de nuit. Nous avons donc un contraste nycthéméral clair qui est bien évidemment à mettre en relation avec les différents stades de daphnies, considérant le phytoplancton comme un facteur motivant dans la migration de ces dernières.

- Stade 0.5 mm : à minuit, ce stade se répartit de façon relativement homogène dans la tranche d'eau avec une prédominance de la zone littorale 3 ( $100 \text{ ind./}100 \text{ l}$ ) et de la zone de profondeur intermédiaire ( $> 100 \text{ ind./}100 \text{ l}$ ). Cette répartition se lie de manière étroite avec celle des cryptophytes, qui sont, à minuit, également plus abondantes dans ces zones. De jour, le pic le plus important observable de *Daphnia magna* se situe dans les profondeurs intermédiaires ( $> 250 \text{ ind./}100 \text{ l}$ ) tout comme les cryptophycées. Il paraît donc évident, au vu de ceci, que ce stade possède une certaine préférence pour les cryptophycées, bien qu'à midi, on le retrouve également en Z.L.2 et en Z.P.1, lieu où les cryptophycées sont peu présentes. Mais encore une fois, on sait que l'interaction de ce stade avec les chaoboridés semble assez forte et que donc, le facteur algal est important mais non unique.
- Stade 0.9-1.8 mm : Dans ce cas, à minuit, les densités les plus fortes sont observables en Z.L.1 ( $2000 \text{ ind./}100 \text{ l}$ ) et en Z.L.2 ( $2250 \text{ ind./}100 \text{ l}$ ). En Z.L.2 (pic légèrement plus important), on peut voir que l'abondance des daphnies peut être mise en relation avec celle des diatomées, dont on observe également un pic dans cette zone. En ce qui concerne Z.L.1, on ne peut mettre en évidence de phénomène

particulier. A midi, c'est en Z.L.2 (2500 ind./100 l) et en Z.P.1 (1500 ind./100 l) que les daphnies sont les mieux représentées. C'est dans ces zones que les cryptophycées sont également les plus abondantes à ce moment du cycle. Il est donc difficile de tirer des conclusions claires quant à l'importance d'une classe d'algue dans la répartition de ces stades de daphnies, bien que les cryptophycées semble en être la principale source alimentaire.

- Stades 2.2-2.5 mm : Les pics les plus importants, à minuit, se situent d'une part en Z.P.2 (270 ind./100 l) et, d'autre part, en Z.L.2 ( $> 150$  ind./100 l). Si l'on compare ce phénomène observé aux différentes densités algales, on remarque qu'un lien peut être fait, d'une part, avec les diatomées (  $60 \mu\text{g chl } a/l$  en Z.L.2 et  $15 \mu\text{g chl } a/L$  en Z.P.2) et, d'autre part, avec ces mêmes cryptophytes dont la concentration est essentiellement importante en Z.L.2 ( $15 \mu\text{g chl } a/l$ ). A midi, *Daphnia magna* se retrouve aux mêmes densités ( $\sim 50 \mu\text{g chl } a/l$ ) en Z.L.2 et dans toutes les zones pélagiques. C'est à mettre en relation avec les diatomées qui se retrouvent en Z.L.2 et Z.P.2 et les cryptophycées qui sont en Z.P.3. On peut donc voir un éventuel lien entre ces deux types d'algues et ce stades de développement de *Daphnia magna*. Toutefois, bien qu'étant très clair sur certains points, ce lien ne semble pas aussi évident pour d'autres (répartition des daphnies en Z.P.1 à midi alors que ces deux classes d'algues y sont à densités plus faibles).

En conclusion et au vu des résultats obtenus, on peut mettre en évidence certains points : les daphnies de taille 0.5 mm possèdent une affinité qui semble claire pour les cryptophycées, bien que la présence de ces dernières ne soit évidemment pas le seul facteur jouant dans leur migration. Cette affinité semble être conservée, dans une moindre mesure, par les classes de tailles intermédiaires. Lors des pics de diatomées, on remarque que les daphnies les plus grandes (2.2-2.5 mm) gardent cette affinité pour ces mêmes cryptophytes mais que celle-ci est beaucoup plus nuancée. En effet, les répartitions de ces classes de daphnies sont partagées entre les différentes densités de diatomées et cryptophycées. Ce phénomène n'est toutefois pas évident et une analyse plus complète serait nécessaire pour pouvoir affirmer de manière plus claire cette constatation.

### 6.1.3 Intégration des différents paramètres biotiques et abiotiques dans les migrations observées

Dans cette partie, nous allons essayer de dégager les effets généraux des paramètres précités et de voir les interactions possibles entre ces derniers. Nous ne nous attarderons donc plus au cas par cas dans cette intégration des facteurs influents. De telle manière, il sera plus aisé de comprendre l'effet global de ceux-ci ainsi que leur importance relative pour les différents stades de daphnies. Au vu de l'analyse en 6.1.1 et 6.1.2, nous pouvons tirer les hypothèses suivantes :

1. Les stades 0.5 mm semblent migrer vers les tranches d'eau où les cryptophycées sont assez abondantes et semblent être la proie préférentielle des chaoboridés, les différents pics de concentrations coïncidant pour les deux cycles, bien que ces derniers soient totalement différents. On peut donc imaginer le canevas suivant : les daphnies migrent vers les zones où la disponibilité alimentaire est grande et sont suivies lors de leur trajet par les *Chaoborus*. Toutefois, leur répartition semblerait être un compromis entre la prédation et la nutrition. En effet, lorsque la densité de chaoboridés est très importante dans une zone, on remarque que les daphnies la fuient pour aller dans là où la densité algale est moins forte. L'effet *Chaoborus* semble dans ce cas supplanter l'aspect nutritionnel. Ce phénomène est très visible dans les mouvements observés lors du cycle du 29/05 pour les collectes de 12 h et de 16 h. La concentration en oxygène et l'intensité lumineuse semblent jouer un rôle moins important, c'est-à-dire que, lorsqu'on a ni de pic de phytoplancton, ni de pic de chaoboridés, les individus de ce stade se retrouvent préférentiellement dans les zones riches en oxygène et bien éclairées et, une fois qu'un pic est observé, on remarque chez la daphnie une réponse adaptative en fonction des facteurs biologiques.
2. Les stades 0.8-1.9 mm, contrairement au stade 0.5 mm, ne semblent pas être une proie préférentielle pour les chaoboridés, les deux dynamiques étant clairement distinctes. Les *Chaoborus* ont donc une tendance, au vu de nos résultats, à s'attaquer aux individus de plus petite taille. En ce qui concerne le phytoplancton, on remarque une préférence pour les chrysophycées et cryptophycées le 29/05. Toutefois, il semble que lorsque l'on observe des pics de diatomées (3/07), cette constatation soit moins claire.



En effet, la répartition des daphnies est partagée entre les lieux où l'on retrouve des cryptophycées et des diatomées. On voit donc que ces stades deviennent sensibles à la densité en diatomées, contrairement aux individus de plus petite taille. Dès lors, on peut imaginer que ces derniers sont incapables de démolir la frustule des diatomées et que donc, cette source de nourriture est peu intéressante car inexploitable. L'oxygène semble ici jouer un rôle plus important : on remarque que, lorsque l'on retrouve de faibles teneurs en oxygène, les individus sont peu présents alors que l'on peut y retrouver -par exemple le 3/07 à 24 h (Z.P.3)- des densités algales très fortes. Toutefois, il semble que ces densités ne soient préjudiciables pour ces stades qu'à partir d'un certain seuil, ces individus se répartissant clairement dans la tranche d'eau intermédiaire alors que l'on n'y retrouve des concentrations qui ne sont que de l'ordre de 5 mg/l. Contrairement aux autres stades, il semble que celui-ci soit beaucoup plus sensible aux facteurs abiotiques car, au vu des densités algales, on aurait pu croire qu'ils y soient de manière claire, comme c'est le cas dans les autres zones.

3. En ce qui concerne les plus grandes tailles (2.2-2.5 mm), l'impact des chaoboridés n'est pas, comme pour les tailles intermédiaires, significatif. Les liens avec les algues semblent, eux aussi, être moins évidents. En effet, pour le cycle du 23/05, leur comportement ne semble pas être guidé par une classe d'algue particulière. En effet, aucune corrélation ne peut être faite. A minuit, par contre, pour deux des trois zones où elles se situent, on retrouve une dominance algale. Le 3/07, on semble retrouver un lien identique à celui observé pour les stades 0.9-1.8 mm. Toutefois cette corrélation ne semble pas être claire en tout point. Il est donc difficile, ici, de mettre en évidence de manière claire un lien entre les facteurs biotiques et le comportement de la daphnie. En ce qui concerne les facteurs abiotiques, des liens plus clairs peuvent être mis en évidence. En effet, le 29/05 ces daphnies ne se retrouvent pas ou de manière peu significative dans les tranches d'eaux profondes, où l'oxygène est déficitaire. Le 3/07, ce phénomène est moins clair. On retrouve les daphnies essentiellement dans les zones pélagiques intermédiaires et profondes. Dès lors, dans ce cas, aucun des facteurs étudiés ne semble jouer un rôle vraiment clair dans la migration des daphnies. Il s'agit donc d'un ou de plusieurs autres facteurs non étudiés dans cette étude. Il s'agit dès lors peut être d'autres espèces de zooplancton ou bien alors, il peut tout simplement ne pas y avoir de phénomène migratoire précis pour ces grands individus.



## 6.2 Discussion

Les paramètres physiques sont des facteurs ayant une certaine importance dans la répartition et la migration du zooplancton. Au sein de l'étang principal de Luchy, nous avons mis en évidence deux de ces facteurs: l'intensité lumineuse et la concentration en oxygène. En effet, ce sont les deux facteurs qui varient de manière évidente durant un cycle nycthéral, le pH ne variant presque pas (de 6.8 à 7.1) et la température au cours d'un même cycle non plus. Toutefois, il paraît intéressant de se pencher sur ce dernier facteur car il possède une assez grande variabilité pour les quatre cycles observés : pour les deux collectes où nous n'avons pas mis en évidence des migrations de zooplancton, les conditions atmosphériques des jours précédant les prélèvements étaient franchement mauvaises. De celles ci résultent un abaissement de la température. Or, ce phénomène peut être préjudiciable sur le mouvement, la croissance, la fécondation du zooplancton. En effet, il a pu être mis en évidence lors d'une étude sur les fluctuations saisonnières des migrations de daphnies que ces dernières étaient beaucoup plus fortes au fur et à mesure que la température augmentait, ce, jusqu'à un certain seuil. A partir de 15 °C et en dessous, on a remarqué que les pics de densités pour ces températures étaient d'amplitude nettement plus faible (Barry 1997). Ceci pourrait sans doute être l'élément explicatif du fait que nous n'avons pu observer de réelles migrations chez *Daphnia magna* lors des deuxième et troisième cycles puisque la température avait chuté de 5 °C en deux semaines (maximum à 23°C le 29/05 contre 18 °C le 16/06). Ce phénomène aurait sans doute été moins marqué dans un lac de plus grande superficie où les variations climatiques auraient eu une moindre incidence. En effet, lorsque l'on travaille à plus petite échelle, de nombreux facteurs imprévisibles et variables dans le temps peuvent affecter facilement la distribution du zooplancton (Lacroix 1995). Il s'agit donc certainement du problème auquel nous avons été confrontés. La concentration en oxygène et l'intensité lumineuse semblent, dans cette étude, être des facteurs supplantés par les phénomènes biologiques. La daphnie cherche plutôt un meilleur photoenvironnement, afin, soit de ne pas être visible par ses prédateurs (Verreth 1990), soit de trouver de grandes concentrations de zooplancton (Lampert 1992). On remarque cependant que les tailles intermédiaires sont plus sensibles à la concentration en oxygène car elles ne se retrouvent pas dans les zones déficitaires durant toute la durée des cycles.

Les densités de zooplancton et de phytoplancton sont très souvent associées de manière étroite (Lampert 1992), ayant la même répartition spatio-temporelle. De manière générale, on remarque que, sous l'effet de la prédation par la communauté ichthyologique zooplanctonophage, les daphnies se concentrent dans l'hypolimnion durant le jour et que, durant la nuit, elles remontent pour filtrer le phytoplancton dans l'épilimnion (Lampert et *al.* 1985). Ce comportement n'est pas observé dans l'étang de Luchy, où la communauté ichthyologique est absente. Une autre relation entre le phytoplancton et le zooplancton réside dans le fait que les interactions sont plus marquées lorsque le phytoplancton est faiblement représenté dans le milieu (Moss 1990). Ceci n'est pas observable dans notre cas (cfr 6.1.1.2). Nous n'avons pas retrouvé dans la littérature une préférence quelconque pour un certain type d'algue chez *Daphnia magna*. De manière générale, nous pouvons toutefois tirer les conclusions suivantes : l'algue préférentiellement consommée par *D. magna* semble faire partie des cryptophycées. Celle-ci peut découler du fait qu'elles ont un flagelle qui les rend plus faciles à attraper. Au fur et à mesure que l'on augmente dans les tailles, on remarque que cette préférence est partagée avec les diatomées. Cette dernière n'étant sans doute pas accessible par les plus jeunes individus, peut être incapables de démolir la frustule de ces dernières. Lorsque les daphnies subissent une prédation par les chaoboridés (stade 0,5 mm), il semble toutefois que celle-ci supplante l'effet du phytoplancton sur la migration des daphnies.

L'aspect original de cette étude réside dans le fait que nous avons travaillé dans un milieu où l'on ne retrouvait pas de communauté ichthyologique, la pression de prédation étant imputable à la communauté de chaoboridés. Dans un milieu où l'on retrouve des poissons, on remarque un impact de leur prédation sur les répartitions et donc les migrations de daphnies. Celui-ci se traduit par une cyclique jour-nuit : le zooplancton évite la zone littorale durant la journée car, à ces heures, il est tout à fait visible par les poissons et devient donc une proie facile. Il se cantonne donc aux zones pélagiques, essentiellement profondes. De nuit, la tendance est inversée étant donné qu'ils ne sont plus visibles par ces prédateurs. Ce comportement d'évitement de la zone littorale est accepté comme étant une réponse adaptative de la communauté zooplanctonique face à ce type de prédation (Verreth 1989 ; Moss 1990; Nesbitt 1996; White 1997; Korponai 1998; Wicklum 1999). Il faut aussi faire remarquer que la présence de macrophytes devient, sous ces conditions, un facteur essentiel. En effet, le zooplancton peut utiliser ces dernières comme refuge contre les prédateurs. Dans le cadre de notre étude, de tels comportements ne sont pas observables, les daphnies ne montrant pas de

comportement si évident. Ces observations renforcent cette hypothèse d'évitement de la zone littorale en tant que réponse adaptative.

La seule prédation que l'on retrouve dans ce milieu est exercée par les chaoboridés. Ces derniers semblent se nourrir, au vu de nos observations, des stades les plus jeunes de daphnies. En effet, on remarque qu'au cours des quatre cycles les concentrations les plus élevées de daphnies (0,5 mm) sont corrélées à de fortes densités de chaoboridés. Plusieurs publications vont en ce sens : Dodson (1996) et Soranno (1990) ont remarqué que *Chaoborus* se nourrit essentiellement de *Daphnia pulex* lorsque sa taille est inférieure à 0,7 mm. De manière générale, les chaoboridés possèdent des comportements migratoires tout à fait caractéristiques : ils se trouvent essentiellement dans l'hypolimnion et le métalimnion durant le jour et, durant la nuit, se retrouvent en surface (Soranno 1990). Ce comportement est clairement observé pour les cycles du 16/06 et du 3/07 mais ce n'est pas le cas pour les deux autres prélèvements. Pour le 29/05, l'abondance des chaoboridés est clairement plus élevée en zones de surface. La faible représentation des chaoboridés de jour en zones intermédiaire et profonde peut sans doute se justifier par l'absence de daphnies de classe de taille 0,5 mm dans ces zones. En ce qui concerne le cycle du 23/06, on ne peut pas tirer de conclusion définitive car le cycle n'a pas fait l'objet d'un suivi complet.

En conclusion, nous pouvons émettre l'hypothèse que parmi les facteurs étudiés ce sont essentiellement les facteurs biologiques qui jouent un rôle prépondérant dans les schémas migratoires de *Daphnia magna*. Les paramètres physiques semblent quant à eux, jouer un rôle sur la migration des daphnies lorsqu'ils influent sur l'intégralité du milieu comme cela a été observé dans notre cas pour la température. Par contre, lorsque les paramètres physico-chimiques n'influencent pas uniformément tout le milieu (concentration en oxygène), leur impact est subordonné à celui des facteurs biologiques.

## **VII : CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES**



# CHAPITRE 7 : CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

## 7.1 Conclusions générales

Le but de cette étude était de mettre en évidence la répartition et les éventuelles migrations de la communauté de *Daphnia magna* au sein des étangs de Luchy. Afin d'atteindre notre objectif, nous avons réalisé quatre collectes au cours de cycles de 24 h. Les chaoboridés et le zooplancton étaient échantillonnés toutes les quatre heures dans trois zones littorales et trois zones pélagiques prédéfinies (5 prélèvements par zone). Le phytoplancton, quant à lui, n'était collecté qu'aux heures extrêmes d'ensoleillement (12 h et 24 h). Pour chaque lieu et à chaque moment du cycle, nous avons relevé les paramètres physico-chimiques suivants : la température, le pH, la concentration en oxygène et l'intensité lumineuse. Nous avons ensuite analysé les répartitions et migrations de *Daphnia magna* et les avons comparées avec les changements nycthéméraux au sein de l'étang de Luchy, qu'ils soient abiotiques ou biotiques. Au terme de cette étude, nous pouvons tirer les hypothèses suivantes :

1. *Daphnia magna* ne migre pas avec une rythmique de 24 h. Ceci est sans doute dû au fait que le milieu dans lequel nous avons échantillonné est trop peu étendu. En effet, nous pouvons supposer que, durant un cycle nycthéméral, ces daphnies ont le temps de parcourir l'étang plus d'une fois. On peut aussi suggérer que les daphnies ne sont simplement pas poussées à migrer car le milieu est peu stressant.
2. Les facteurs physiques semblent jouer un rôle prépondérant dans deux cas : lorsqu'ils affectent la totalité du milieu (abaissement brusque de la température), comme c'est le cas pour les deuxièmes et troisièmes cycles effectués et lorsque les facteurs biologiques ne sont prédominants dans aucune tranche d'eau.

3. *Daphnia magna* se nourrit du phytoplancton de manière préférentielle : les cryptophycées sont filtrées par tous les stades étudiés alors que les diatomées ne semblent être accessibles que pour les stades de 0.9 mm à 2.5 mm. Ces deux types algaux sont parmi les trois plus abondants dans le milieu.
4. La communauté de chaoboridés ne semble affecter que les stades juvéniles de daphnies (0.5 mm). Dans ce cas, l'effet de la prédation supplante celui de la nutrition. En ce qui concerne les plus grands stades, aucun lien ne peut être fait entre les deux communautés.

## **7.2 Perspectives**

En vue d'une étude similaire, nous pouvons proposer diverses améliorations de la méthodologie de travail. Il serait intéressant de travailler dans un milieu de plus grande échelle. Les facteurs climatiques auraient ainsi des incidences moindres sur le milieu et donc des répercussions moins perceptibles sur le comportement du zooplancton. De plus, un tel cadre nous permettrait sans doute d'observer des schémas migratoires ayant une dynamique jour-nuit.

Toutefois, si l'on décide de continuer cette étude ou de travailler dans un milieu semblable, la stratégie des collectes peut être améliorée. Elle consisterait en plusieurs prélèvements durant 48 h pour lesquels les prélèvements de macroinvertébrés, de phytoplancton et de zooplancton seraient réalisés toutes les deux heures et ce, en choisissant des dates précédées de conditions climatiques favorables. De telle manière, nous aurions d'une part plus de points de comparaison entre le zooplancton et le phytoplancton et, d'autre part, un répliquat étant donné que nous travaillerions sur deux jours. La réflexion sur les résultats obtenus pourrait être poussée plus loin par une analyse canonique des correspondances afin de mettre en relation une matrice de données environnementales avec une matrice d'abondance en espèces.

Il serait d'ailleurs intéressant de continuer cette étude car une population de truite (*Salmo trutta trutta* Linné) va être réintroduite dans le milieu. Cette espèce se reproduit au sein de l'étang et n'est zooplanctivore qu'aux plus jeunes stades, passant ensuite à une nourriture invertivore (impact sur les chaoboridés ?) pour devenir essentiellement piscivore à l'âge adulte. Suite à cet impact de prédation, la présence de macrophytes deviendrait un

facteur biotique essentiel, représentant alors un refuge pour le zooplancton. Dès lors, il paraît intéressant de réaliser une étude sur la répartition et la migration de *Daphnia magna* en tenant compte des améliorations stratégiques précitées et de voir si un changement dans les schémas de distribution est observable. Nous pouvons ainsi proposer une étude de la répartition des truites ainsi que de leur régime alimentaire à leurs différents stades.

Ce mémoire complète donc la connaissance écologique du fonctionnement de ce milieu en mettant en évidence sa bonne qualité. Il apporte ainsi des éléments utiles notamment pour la gestion piscicole de cette réserve.

## **BIBLIOGRAPHIE**



## **BIBLIOGRAPHIE**

- AMOROS** (1984) "Introduction à la systématique des organismes des eaux continentales françaises: crustacés cladocères." Société Linnéenne de Lyon 53<sup>ème</sup> année, n<sup>os</sup> 3 et 4.
- BARRY M.J.**(1997) "Effects of food limitation, notonectid predation, and temperature on the population of *Daphnia carinata*." Int. Revue ges. Hydrobiol. vol. 82 no. 4 pp. 545-562.
- BOURELLY** (1968) « Les algues d'eau douce : les algues jaunes et brunes », Boubée
- BOURELLY** (1972) « Les algues d'eau douce : les algues vertes », Boubée
- BOURELLY** (1977) « Les algues d'eau douce : les algues bleues et rouges », Boubée
- DESCY J.P., EMPAIN A., THEATE J.M., HALEN H. et POTTY A.** (1989) "Manuel pratique des techniques d'analyse de l'eau, analyses physico-chimiques".
- DODSON S. and WAGNER A.** (1996) "Temperature affects selectivity of *Chaoborus* larvae-eating *Daphnia*." Hydrobiologia n°325: 157-161, Kluwer Academic Publishers.
- DODSON STANLEY, RYAN SHANNA, TOLLRIAN RALPH and LAMPERT WINFRIED** (1997) " Individual swimming behavior of *Daphnia*: effects of food, light and container size in four clones." Journal of plankton research vol. 19 no. 10 pp. 1537-1552.
- DUSSART** (1967) "Les copépodes des eaux continentales" Ed. N. Boubée et Cie, Paris- VI<sup>e</sup>.
- GERMAIN** (1981) « Flore des diatomées », Boubée
- GLIWICZ Z.M. and LAMPERT** (1994) « Clutch size variability in *Daphnia*: body size related effects of egg predation by cyclopoid copepods" Limnol. Oceanogr. 39(3): 479-485.
- HAMZA WALEED, RUGGIU DELIO and MANCA MARINA** (1993) " Diel zooplankton migrations and their effect on the grazing impact in lake Candia (Italy)." Arch. Hydrobiol. Beih. no. 39 pp. 175-185.
- KING CHARLES and MIRACLE MARIA** (1995) " Diel vertical migration by *Daphnia longispina* in a spanish lake: genetic sources of distributional variation." Limnol. Oceanogr. vol.40 no. 2 pp. 226-231.
- KORPONAI J., MATYAS K., TATRAI I. and PAULOVITS G.** (1998) "Distribution of zooplankton in vegetation microhabitat of kis-Balaton reservoir, Hungary" International revue hydrobiology, n°83, pp167-170.
- LACROIX GERARD and LESCHER-MOUTOUE FRANCOISE** (1995) " Spatial patterns of planktonic microcrustaceans in a small shallow lake." Hydrobiologia 300/301: pp. 205-217.

- LAMPERT WINFRIED** (1992) " Zooplankton vertical migrations: implications for phytoplankton-zooplankton interactions." Arch. Hydrobiol. Beih. no.35 pp. 69-78.
- LAMPERT WINFRIED and TAYLOR BARBARA** (1985) " Zooplankton grazing in a eutrophic lake: implications of diel vertical migration." Ecology vol.66 no.1 pp. 68-82.
- LEGENDRE P. et LEGENDRE L.** (1998) "Numerical ecology, second english edition: developpements in environmental modelling 20", Elsevier Science B.V., 851 p.
- MALONE B. J. and McQUEEN D. J.** (1983) " Horizontal patchiness in zooplankton populations in two Ontario kettle lakes" Hydrobiologia 99, 101-124.
- MITCHELL SUZANNE, DE MEESTER LUC, WEIDER LAWRENCE and CARVALHO GARY** (1995) " No evidence for kin-preferential swarming in a *Daphnia magna* population coexisting with fish." Journal of animal ecology no. 64 pp.777-779.
- MOSS B.** (1990) "Ecology of fresh waters: man and medium" Second edition/ Blackwell scientific publications.
- NESBIT LESLIE, RIESSEN HOWARD and RAMCHARAN CHARLES** (1996) " Opposing predation pressures and induced vertical migration responses in *Daphnia*." Limnol. Oceanogr. vol. 41 n° 6 pp. 1306-1311.
- QUIGLEY** (1977) "Invertebrates of streams and rivers: a key to identification" Edward Arnold ed. London.
- RINGELBERG J.** (1995) " Is diel vertical migration possible without a rythmic signal?" Journal of plankton research vol. 17 no. 3 pp. 653-655
- SAKWINSKA OLGA** (1998). " Plasticity of *Daphnia magna* life history traits in response to temperature and information about a predator." Freshwater biology vol. 39 pp 681-687.
- SHANE A. RICHARDS, HUGH P. POSSINGHAM and JOHN NOYE** (1996) "Diel vertical migration: modelling light-mediated mechanisms" Journal of Plankton Research vol.18 n°.12 pp. 2199-2222
- SORANNO P., CARPENTER S. and MOEGENBURG S.** (1990) "Dynamics of the phantom midge: implications for zooplankton", pp102-115
- TACHET , BOURNAUD et RICHOUX** (1980) "Introduction à l'étude des macroinvertébrés des eaux douces" Université Lyon I.
- THIENEMANN** (1938) « Die binnengewässer : Das phytoplankton des süßwassers, teil 1 », Stuttgart
- THIENEMANN** (1941) « Die binnengewässer : Das phytoplankton des süßwassers, teil 2.1 », Stuttgart
- THIENEMANN** (1942) « Die binnengewässer : Das phytoplankton des süßwassers, teil 2.2 », Stuttgart

**THIENEMANN** (1955) « Die binnengewässer : Das phytoplankton des süßwassers, teil 4 », Stuttgart

**THIENEMANN** (1968) « Die binnengewässer : Das phytoplankton des süßwassers, teil 3 auflage 2, Stuttgart

**TORBEN LAURIDSEN L. and BUENK IRMA** (1996) "Diel changes in the horizontal distribution of zooplankton in the littoral zone of two shallow eutrophic lakes." Arch. Hydrobiol. vol. 137 no. 2 pp. 161-176.

**VERRETH JOHAN** (1990) "The accuracy of population density estimates horizontally distributed zooplankton community in dutch fish ponds." Hydrobiologia 203: pp. 53-61.

**VIROUX** (2000) "Dynamique du métazooplancton en milieu fluvial" Presses Universitaires de Namur.

**WALOT, DUBUISSON et VAN DIJCK** (1991) "Les réserves domaniales de l'Ardenne Centrale: Les étangs de Luchy" Ministère de la Région Wallonne: Division de la Nature et des Forêts.

**WALOT TH., P. DELAUNOIS, J.-M. DUMONT, G.-H. PARENT, PH. LEBRUN et M. TANGHE** (1992) "Plan de gestion des réserves naturelles domaniales d' Ardenne centrale: 3. Les étangs de Luchy" Rapport final à la Région Wallonne.

**WHITE M. D.** (1997) "Horizontal distribution of pelagic zooplankton in relation to predation gradients." Ecography 21: 44-62.

**WICKLUM D.** (1999) "Variation in horizontal zooplankton abundance in mountain lakes: shore avoidance or fish predation?" Journal of Plankton Research Vol.21 n°.10 pp.1957-1975.

**YOUNG STEPHEN and WATT PENELOPE** (1993) "Behavioral mechanisms controlling vertical migration in *Daphnia*." Limnol. Oceanogr. vol. 38 no. 1 pp. 70-79.

**ZUREK ROMAN** (1989) "Horizontal distribution of zooplankton in the Roznow reservoir (southern Poland)." Polskie Archiwum Hydrobiologii vol. 36 no. 2 pp. 195-206.

## **ANNEXES**



Annexe 1 : Résultats de l'analyse (1991) physico-chimique des eaux de la réserve naturelle de Luchy  
(Walot *et al.*, 1992)

Points de prélèvements	LUCHY				
	Ruiss.1	Ruiss. 2	Etang 4	Etang 5	Ruiss. 3
Dates	02.05.91	02.05.91	02.05.91	02.05.91	02.05.91
<u>Paramètres</u>					
Température ( °C )	6.2	4.7	7.8	12.2	6.9
pH	6.1	6.5	6.6	6.9	6.6
Conductivité ( $\mu$ S/cm )	128	63	91	73	99
O <sub>2</sub> dissous ( mg/l )	11.6	11.9	10.7	11.1	11.5
( % satur. )	104	104	95	97	97
Na <sup>+</sup> ( mg/l )	8.5	5.0	8.0	7.0	8.0
K <sup>+</sup> (mg/l)	0.7	1.4	0.8	0.8	0.9
Ca <sup>++</sup> (mg/l)	9.5	6.0	7.5	6.5	9.0
Mg <sup>++</sup> (mg/l)	3.7	1.7	2.3	2.2	3.0
CaCO <sub>3</sub> ( mg/l )	30	8	12	-	34
Cl <sup>-</sup> ( mg/l )	22.2	3.8	11.4	-	14.4
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> ( mg/l )	9.5	12.4	-	-	7.2
P-PO <sub>4</sub> ( $\mu$ g/l )	33.5	56.1	°	29.8	26.2
N-NH <sub>4</sub> ( mg/l )	0.03	0.02	0.05	0.04	0.02
N-NO <sub>2</sub> ( $\mu$ g/l )	1.4	2.9	6.9	6.9	2.9
N-NO <sub>3</sub> ( mg/l )	1.2	1.1	0.9	0.7	1.8

° erreur d'analyse  
- pas d'analyse

Annexe 2 : Etablissement des niveaux de pollution chimique de l'eau  
(qualités des eaux piscicoles, Région Wallonne)

PARAMETRES GENERAUX					
Température	T	°C	25	21,5	25
Oxygène dissous terrain	O <sub>2</sub>	mg/l		50% ± 9	60% ± 7
Saturation en oxygène	%O <sub>2</sub>	%	> 50		
pH	pH		6 - 9	6 - 9	6 - 9
Matières en suspension	MES	mg/l		≤ 50	≤ 50
Conductivité sur place à 20°C	K <sub>m</sub>	µS/cm			
Dureté totale	TH	°F			
SUBSTANCES EUTROPHISANTES					
Nitrates	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg N/l		(1)	(1)
Nitrites	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg N/l			
Amoniac non ionisé	NH <sub>3</sub>	mg NH <sub>3</sub> /l		≤ 0,025	≤ 0,025
Azote ammoniacal	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg N/l	2	≤ 0,78	≤ 0,78
Azote Kjeldahl	NK <sub>j</sub>	mg N/l	6		
Azote organique	N <sub>o</sub>	mg N/l			
Azote total	N <sub>t</sub>	mg N/l			
Orthophosphates solubles	O-P	mg P/l			
Phosphore total	T-P	mg P/l	1	≤ 0,5	≤ 0,5
SUBSTANCES INORGANIQUES					
Bromures	Br <sup>-</sup>	mg/l			
Chlorures	Cl <sup>-</sup>	mg/l	250		
Cyanures totaux	CN <sup>-</sup>	mg/l	0,05		
Fluorures	F <sup>-</sup>	mg/l			
Sulfates	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	150		
METAUX ET METALLOIDES					
Aluminium	Al	µg/l			
Antimoine	Sb	µg/l			
Arsenic	As	µg/l	50		
Baryum	Ba	µg/l			
Béryllium	Be	µg/l			
Bore	B	µg/l			
Cadmium	Cd	µg/l	1		
Calcium	Ca	mg/l			
Chrome	Cr	µg/l	50		
Cobalt	Co	µg/l			
Cuivre soluble	Cu <sub>s</sub>	µg/l		(2)	(2)
Cuivre	Cu	µg/l	50		
Etain	Sn	µg/l			
Fer	Fe	µg/l			
Magnésium	Mg	mg/l			
Manganèse	Mn	µg/l			
Mercuré	Hg	µg/l	0,5		
Nickel	Ni	µg/l	50		
Plomb	Pb	µg/l	50		
Potassium	K	mg/l			
Sodium	Na	mg/l			
Zinc	Zn	µg/l	300	(3)	(3)
PARAMETRES ORGANIQUES INTEGRES					
Carbone organique dissous	COD	mgC/l			
Demande chimique en oxygène	OCO	mg/l			
Demande biochimique en oxygène (B <sub>5</sub> )	DBO <sub>5</sub>	mg/l		≤ 4	≤ 6
Détergents anioniques	MBA <sub>5</sub>	mg/l	0,5		
Halogénés organiques adsorbables	AOX	µgCl/l			
Inhibiteurs de la cholinestérase		µg/l	0,5		
Indice phéni		mg/l		≤ 0,02	≤ 0,02

annexe 3: densités (ind./100 l) de *Daphnia magna* et de *Chaoborus*  
dans les trois zones littorales (Z.L.1; Z.L.2; Z.L.3)  
et les trois zones pélagiques (Z.P.1 - 0 m; Z.P.2 - 2,5 m; Z.P.2 5 m)  
lors de la collecte du 29/05/2001

		Z.L.1	Z.L.2	Z.L.3	Z.P.1	Z.P.2	Z.P.3
20h	0.5 mm	0	100	25	0	25	50
	0.9-1.8 mm	1025	1400	1100	4500	750	275
	2.2-2.5 mm	0	0	75	0	0	0
	<i>Chaoborus</i>	11	36	36	67	16	25
24h	0.5 mm	0	250	50	0	0	50
	0.9-1.8 mm	2050	1800	775	2500	1375	275
	2.2-2.5 mm	0	100	50	125	0	0
	<i>Chaoborus</i>	43	156	26	54	12	7
4h	0.5 mm	0	125	40	0	0	0
	0.9-1.8 mm	1030	1100	430	3150	975	350
	2.2-2.5 mm	75	0	60	75	0	0
	<i>Chaoborus</i>	40	70	19	46	9	3
8h	0.5 mm	50	100	70		0	0
	0.9-1.8 mm	2725	775	430		1600	575
	2.2-2.5 mm	50	0	0		0	0
	<i>Chaoborus</i>	41	12	15		23	10
12h	0.5 mm	25	150	80	0	0	0
	0.9-1.8 mm	4700	1590	750	1100	825	925
	2.2-2.5 mm	75	50	50	0	0	0
	<i>Chaoborus</i>	68	96	20	23	36	14
16h	0.5 mm	25	100	250	0	0	100
	0.9-1.8 mm	2625	625	325	450	1575	600
	2.2-2.5 mm	0	150	175	0	50	0
	<i>Chaoborus</i>	38	5	15	72	26	2
20h	0.5 mm	0	0	20	75	0	25
	0.9-1.8 mm	1225	425	1030	2775	525	400
	2.2-2.5 mm	0	50	50	75	0	0
	<i>Chaoborus</i>	22	21	25	51	12	4



annexe 4.: densités (ind./100 l) de *Daphnia magna* et de *Chaoborus*  
dans les trois zones littorales (Z.L.1; Z.L.2; Z.L.3)  
et les trois zones pélagiques (Z.P.1 - 0 m; Z.P.2 - 2,5 m; Z.P.2 5 m)  
lors de la collecte du 16/06/2001

		Z.L.1	Z.L.2	Z.L.3	Z.P.1	Z.P.2	Z.P.3
20h	0.5 mm	20	60	0	150	20	75
	0.9-1.8 mm	1240	440	700	340	630	260
	2.2-2.5 mm	0	20	0	80	10	0
	<i>Chaoborus</i>	9	51	45	67	84	53
24h	0.5 mm	0	200	0	240	20	70
	0.9-1.8 mm	1680	1090	70	1080	1310	310
	2.2-2.5 mm	0	0	0	0	0	10
	<i>Chaoborus</i>	14	77	19	57	82	39
4h	0.5 mm	40	80	0	160	0	20
	0.9-1.8 mm	280	460	290	530	1130	430
	2.2-2.5 mm	0	0	0	40	0	0
	<i>Chaoborus</i>	9	62	17	54	67	22
8h	0.5 mm	20	60	0	110	0	30
	0.9-1.8 mm	560	630	230	410	1840	740
	2.2-2.5 mm	0	0	20	0	0	0
	<i>Chaoborus</i>	55	72	67	52	177	274
12h	0.5 mm	20	250	20	140	0	0
	0.9-1.8 mm	1150	1580	540	680	880	980
	2.2-2.5 mm	0	0	20	260	10	0
	<i>Chaoborus</i>	40	51	14	66	81	63
16h	0.5 mm	0	60	40	180	0	40
	0.9-1.8 mm	820	500	880	760	1220	780
	2.2-2.5 mm	0	0	0	260	20	0
	<i>Chaoborus</i>	7	16	15	49	94	48
20h	0.5 mm	20	40	0	140	10	80
	0.9-1.8 mm	1140	500	880	380	730	310
	2.2-2.5 mm	0	10	0	70	10	0
	<i>Chaoborus</i>	8	54	12	55	64	50



annexe 5.: densités (ind./100 l) de *Daphnia magna* et de *Chaoborus*  
dans les trois zones littorales (Z.L.1; Z.L.2; Z.L.3)  
et les trois zones pélagiques (Z.P.1 - 0 m; Z.P.2 - 2,5 m; Z.P.2 5 m)  
lors de la collecte du 23/06/2001

		Z.L.1	Z.L.2	Z.L.3	Z.P.1	Z.P.2	Z.P.3
20h	0.5 mm	30	80	20	20	40	30
	0.9-1.8 mm	1040	620	420	1460	670	130
	2.2-2.5 mm	0	20	0	30	0	0
	<i>Chaoborus</i>	120	29	42	52	22	37
24h	0.5 mm	10	210	20	80	30	40
	0.9-1.8 mm	1620	1270	80	1370	1130	210
	2.2-2.5 mm	0	20	0	20	20	30
	<i>Chaoborus</i>	52	97	21	57	13	27
4h	0.5 mm	40	100	0	60	50	10
	0.9-1.8 mm	540	740	250	1440	960	290
	2.2-2.5 mm	0	0	0	60	0	10
	<i>Chaoborus</i>	48	63	20	48	7	9
8h	0.5 mm	20	90	0	140	20	20
	0.9-1.8 mm	860	660	210	760	2210	470
	2.2-2.5 mm	20	0	20	20	0	10
	<i>Chaoborus</i>	23	32	13	56	34	22

annexe 6.: densités (ind./100 l) de *Daphnia magna* et de *Chaoborus*  
dans les trois zones littorales (Z.L.1; Z.L.2; Z.L.3)  
et les trois zones pélagiques (Z.P.1 - 0 m; Z.P.2 - 2,5 m; Z.P.2 5 m)  
lors de la collecte du 03/07/2001

		zl1	zl2	zl3	zp1	zp2	zp3
20h	0.5 mm	80	50	40	70	140	40
24h		60	20	100	60	120	50
4h		40	20	80	110	130	30
8h		60	10	50	50	310	810
12h		30	200	60	140	270	50
16h		30	60	60	110	690	20
20h		60	60	0	60	160	50
20h	0.9-1.8 mm	630	450	230	1740	500	600
24h		1970	2280	1120	1140	890	430
4h		160	340	830	2480	750	390
8h		220	360	420	730	650	290
12h		220	2430	290	1460	370	640
16h		620	840	540	2780	560	280
20h		640	440	250	1630	640	660
20h	2.2-2.5 mm	0	0	0	220	80	110
24h		20	160	40	110	270	80
4h		0	10	50	210	40	50
8h		0	0	80	70	430	470
12h		0	70	0	60	50	70
16h		0	0	0	200	930	30
20h		0	0	0	140	170	110
20h	chaoborus	9	47	36	72	92	42
24h		15	72	24	63	87	33
4h		17	65	22	57	73	29
8h		61	94	78	52	174	275
12h		54	67	64	47	65	52
16h		8	20	16	42	91	43
20h		15	52	22	57	77	47

annexe 7: concentrations algales ( $\mu\text{g chl } a/l$ ) lors des différents cycles.

chl.:chlorophycées; chr: chrysophycées; cr.: cryptophycées

C.T-1 cyanobactéries T-1; C.T-2: cyanobactéries T-2; dia.: diatomées

din.: dinophycées; eu.: euglenophycées

sample			chl.	chr.	cr.	C.T-1	C.T-2	dia.	din.	eu.
29/05/2001	0h	LL1	3,468	4,027	0,866	0,000	0,401	0,000	0,000	0,638
29/05/2001	0h	LL2	4,439	9,217	1,953	0,166	1,481	1,972	0,000	0,176
29/05/2001	0h	LL3	3,560	4,138	0,911	0,108	0,523	0,066	0,000	0,549
29/05/2001	0h	LP1	3,730	7,638	1,379	0,147	0,760	0,874	0,000	0,169
29/05/2001	0h	LP2	5,158	2,521	2,240	0,000	0,215	0,284	0,000	0,844
29/05/2001	0h	LP3	2,538	0,856	4,360	0,000	0,304	1,495	0,006	0,032
29/05/2001	12h	LL1	2,446	1,945	0,506	0,000	0,000	0,000	0,000	0,123
29/05/2001	12h	LL2	4,311	2,626	1,576	0,835	0,460	2,284	0,000	0,000
29/05/2001	12h	LL3	3,831	2,440	0,738	0,000	0,000	0,000	0,000	0,417
29/05/2001	12h	LP1	3,365	3,467	1,609	0,549	0,401	0,972	0,000	0,000
29/05/2001	12h	LP2	5,028	2,366	3,095	0,000	0,385	0,255	0,003	0,377
29/05/2001	12h	LP3	5,740	1,504	2,562	0,391	0,278	2,719	0,000	0,000
16/06/2001	0h	LL1	1,340	1,258	0,663	0,050	0,000	0,251	0,000	0,196
16/06/2001	0h	LL2	2,023	4,755	2,162	0,089	0,000	2,610	0,191	0,168
16/06/2001	0h	LL3	1,792	6,575	2,082	0,000	0,127	2,907	0,217	0,084
16/06/2001	0h	LP1	2,014	7,773	0,710	0,572	0,157	1,015	0,207	0,000
16/06/2001	0h	LP2	2,720	9,048	2,698	0,227	0,236	5,347	0,000	0,138
16/06/2001	0h	LP3	2,323	1,867	2,417	0,288	0,674	3,834	0,012	0,000
16/06/2001	12h	LL1	0,913	0,740	0,337	0,299	0,000	0,274	0,000	0,028
16/06/2001	12h	LL2	1,831	2,973	0,948	0,875	0,000	0,877	0,000	0,012
16/06/2001	12h	LL3	2,129	4,552	1,749	0,604	0,000	0,994	0,000	0,000
16/06/2001	12h	LP1	1,907	5,065	1,553	1,212	0,000	2,501	0,000	0,000
16/06/2001	12h	LP2	3,543	12,372	3,215	1,880	0,643	7,573	0,000	0,000
16/06/2001	12h	LP3	3,303	2,098	4,647	0,503	0,821	3,270	0,006	0,103
23/06/2001	0h	LL1	1,384	12,044	2,114	2,537	0,000	3,727	0,000	0,000
23/06/2001	0h	LL2	0,971	2,269	0,860	0,393	0,315	0,820	0,000	0,000
23/06/2001	0h	LL3	1,467	6,481	2,139	0,432	0,901	3,983	0,000	0,000
23/06/2001	0h	LP1	0,742	7,127	0,893	1,126	0,572	1,263	0,000	0,000
23/06/2001	0h	LP2	2,802	24,065	4,857	5,174	3,041	14,461	0,000	0,000
23/06/2001	0h	LP3	2,014	2,691	1,615	0,179	0,846	3,671	0,010	0,000
23/06/2001	12h	LL1	1,467	1,153	0,135	0,000	0,845	0,000	0,000	0,000
23/06/2001	12h	LL2	0,856	0,939	3,191	0,000	0,302	0,137	0,000	0,000
23/06/2001	12h	LL3	2,411	10,990	3,613	1,146	0,929	7,719	0,000	0,000

23/06/2001	12h	LP1	1,429	1,880	1,261	0,000	0,404	0,533	0,000	0,025
23/06/2001	12h	LP2	0,525	1,432	0,358	0,000	0,217	0,043	0,000	0,079
23/06/2001	12h	LP3	10,538	5,674	6,326	0,000	0,000	10,391	0,000	1,069
3/07/2001	0h	LL1	1,399	2,069	0,805	0,140	0,000	2,854	0,000	0,000
3/07/2001	0h	LL2	0,457	2,122	4,752	0,000	0,179	12,730	0,416	0,503
3/07/2001	0h	LL3	2,088	2,096	1,679	0,137	1,719	6,455	0,465	0,000
3/07/2001	0h	LP1	0,647	1,427	3,469	0,269	0,031	10,400	0,524	0,432
3/07/2001	0h	LP2	0,884	1,464	5,202	0,219	0,115	14,639	0,020	0,119
3/07/2001	0h	LP3	10,369	7,506	9,655	4,201	9,067	36,096	0,082	0,000
3/07/2001	12h	LL1	0,498	3,967	2,443	0,446	0,418	6,440	0,463	0,864
3/07/2001	12h	LL2	0,000	2,143	16,438	0,000	0,000	57,260	0,487	2,056
3/07/2001	12h	LL3	0,630	1,969	6,239	0,041	0,000	22,593	0,031	1,064
3/07/2001	12h	LP1	0,789	2,407	0,991	0,623	0,000	1,755	0,432	0,455
3/07/2001	12h	LP2	0,827	2,668	13,778	0,845	0,456	44,498	0,438	1,151
3/07/2001	12h	LP3	2,244	1,871	2,417	0,079	0,000	5,404	0,000	0,000



Annexe 8: concentrations en oxygène (mg/l)  
pour les trois zones pélagiques (ZP1: 0 m; ZP2: 2.5 m; ZP 3: 5 m)

29-mai		ZP1	ZP2	ZP3
	20h	9.75	5.63	2.13
	24h	9.63	0.67	0.91
	4h	9.56	4.62	1.17
	8h	9.71	4.01	0.62
	12h	9.62	4.12	0.56
	16h	10.62	4.22	0.95
	20h	10.06	5.17	2.03
3-juil		ZP1	ZP2	ZP3
	20h	9.91	6.26	2.38
	24h	8.58	4.27	1.36
	4h	8.70	4.04	1.26
	8h	8.74	4.06	0.66
	12h	8.79	4.01	0.68
	16h	10.75	4.32	0.72
	20h	10.22	6.34	1.82

Annexe 9: intensité lumineuse relative (%) dans  
les trois zones littorales (ZL1-ZL3) et les trois zones  
pélagiques (ZP1: 0 m; ZP2: 2,5 m; ZP3; 5 m)

29/05/2001			3/06/2001	
20h	ZL1	10	ZL1	56
	ZL2	5	ZL2	33
	ZL3	1	ZL3	68
	ZP1	1	ZP1	11
	ZP2	1	ZP2	6
	ZP3	1	ZP3	5
24h	ZL1	1	ZL1	20
	ZL2	3	ZL2	11
	ZL3	4	ZL3	8
	ZP1	4	ZP1	5
	ZP2	2	ZP2	11
	ZP3	1	ZP3	5
4h	ZL1	1	ZL1	50
	ZL2	1	ZL2	50
	ZL3	1	ZL3	50
	ZP1	2	ZP1	33
	ZP2	1	ZP2	50
	ZP3	1	ZP3	33
8h	ZL1	516	ZL1	60
	ZL2	573	ZL2	62
	ZL3	563	ZL3	59
	ZP1	407	ZP1	43
	ZP2	10	ZP2	8
	ZP3	1	ZP3	1
12h	ZL1	842	ZL1	62
	ZL2	1120	ZL2	64
	ZL3	1024	ZL3	67
	ZP1	867	ZP1	58
	ZP2	35	ZP2	6
	ZP3	4	ZP3	1
16h	ZL1	867		
	ZL2	742		
	ZL3	723		
	ZP1	784		
	ZP2	36		
	ZP3	4		
20h	ZL1			
	ZL2	44		
	ZL3	44		
	ZP1	68		
	ZP2	9		
	ZP3	1		